



Pedro Alexandre Fialho Godinho

Licenciatura em Engenharia Geológica

Metodologia SIG para promoção de grandes centrais fotovoltaicas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia das Energias Renováveis

Orientador: Doutor João Murta Pina, Docente do DEEC, FCT

Co-orientador: Doutora Maria de Graça de Brito, Docente do DCT, FCT

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel Ribeiro Pereira - FCT/UNL

Arguente: Doutor Miguel Centeno Brito - FCUL (Arguente)

Fevereiro, 2020



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Metodologia SIG para promoção de grandes centrais fotovoltaicas

Copyright © Pedro Alexandre Fialho Godinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos professores João Murta Pina e professora Maria de Graça de Brito, pela sua disponibilidade e abertura que levou a ser possível este projeto de dissertação de mestrado, bem como todo o seu apoio prestado.

Gostaria também de agradecer à minha família que me acompanhou durante este percurso, pois sem eles nada disto seria possível. Em especial aos meus pais pois para além de todo o apoio, carinho e conselhos dados durante toda a minha vida, foram sempre eles que testemunharam as minhas vitórias e derrotas sendo sempre o Norte da minha vida.

Aproveito também para agradecer a todos os colegas e docentes de com os quais partilhei a sala de aula durante o meu percurso universitário, uma vez que proporcionaram um ambiente estimulante e por me ajudarem sempre a relembrar todas as coisas de que me esquecia, com um agradecimento especial ao João Marques e à Raquel Rodrigues, por toda a motivação e força que me foram dando ao longo do meu mestrado.

Por fim, mas não menos importante, gostaria de agradecer a todos os meus amigos pela força e motivação que me foram dando para conseguir concluir esta fase da minha vida.

Resumo

Esta dissertação pretende responder à questão: Considerando determinados pontos de adequabilidade e rendibilidade qual será a melhor localização para a instalação de uma Central Solar Fotovoltaica (CSFV)? Para responder a esta questão, propõe-se criar um modelo de sistema de apoio à decisão que será posteriormente aplicado ao caso do território de Portugal Continental.

Este é um tema importante, dado a necessidade cada vez maior de se exponenciar a exploração de recursos renováveis. No entanto, a aplicação de sistemas energéticos renováveis encontra-se muito dependente das características geográficas de um determinado local, sendo que um bom ordenamento do território será uma boa ferramenta para se exponenciar a exploração deste tipo de recurso.

Assim sendo, de forma a ser avaliado as características geográficas de Portugal Continental, para esta dissertação, será recorrido a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), dado ser uma ferramenta prática e útil para se mapear, quantificar e qualificar as características do território em estudo.

Pretende-se também nesta dissertação, emitir uma resposta mais completa ao investidor e para tal, propõe-se acrescentar uma dimensão económica a este tipo de análise, sendo que a resposta final será a conciliação dos resultados obtidos nas cartas de adequabilidade com as cartas de rendibilidade.

Esta solução em suma, permitirá ao investidor conseguir analisar, de uma forma generalizada, um determinado território e com este modelo, optar pela localização que melhor lhe se adapta às suas necessidades, bem como às características de um determinado local face aos resultados obtidos nas cartas em estudo.

Palavras-chave: Modelo de apoio à decisão; SIG; Energia solar; Central Solar Fotovoltaica.

Abstract

This thesis aims at answering the following question: what makes a location suited to the implementation of a Photovoltaic Solar Plant? To address this question, a model of a decision support system will be developed, and subsequently applied to the territory of Portugal.

This is an important theme, given the growing need to expose the exploitation of renewable resources. However, the application of renewable energy systems is very dependent on the geographical characteristics of a certain place and to achieve it, a good spatial planning will be a useful tool to expose the exploitation of this type of resource.

As such, in order to evaluate the geographical characteristics of Portugal, in this dissertation, a Geographic Information System (GIS) will be used, because it is a practical and useful tool to map, quantify and qualify the characteristics of the territory under study.

It is also intended in this dissertation to issue a more complete response to the investor. It is also intended in this dissertation, to issue a more complete response to the investor, where the final answer will be the reconciliation of the results obtained in the letters of adequacy-dealing with the letters of profitability.

This solution will allow the investor to be able to analyze, in a general, a certain territory and with this model, choose the location that best suits the needs and the characteristics of a certain location.

Keywords: Decision Support Model; GIS; Photovoltaic Solar Plant; Solar Energy

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2	OBJETIVOS	1
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	2
1.4	CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS	4
1.5	METODOLOGIA	4
2	ESTADO DE ARTE.....	5
2.1	AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ENERGIA SOLAR EM PORTUGAL CONTINENTAL	5
2.2	INTRODUÇÃO AO CONCEITO DE ENERGIA SOLAR	10
2.2.1	<i>Caracterização do sistema energético em Portugal Continental.....</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Aproveitamento solar fotovoltaico em Portugal.....</i>	<i>15</i>
2.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADOS À ENERGIA SOLAR.....	16
2.3.1	<i>Fundamentos de Informação Geográfica.....</i>	<i>16</i>
2.3.2	<i>Componentes e módulos de aplicação</i>	<i>17</i>
2.3.3	<i>SIG aplicados à energia solar.....</i>	<i>19</i>
2.4	MODELOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DA POTÊNCIA SOLAR CONVERTIDA POR PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS	24
2.4.1	<i>Avaliação económica de projetos</i>	<i>26</i>
2.4.2	<i>Levantamento das principais centrais solares fotovoltaicas.....</i>	<i>27</i>
3	ANÁLISE MULTICRITÉRIO	31
3.1	PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ANÁLISE MULTICRITÉRIO	31
3.2	ENUMERAÇÃO DE CRITÉRIOS E PARÂMETROS	32
3.2.1	<i>Critérios de exclusão</i>	<i>33</i>
3.2.2	<i>Distâncias de proteção aplicadas</i>	<i>37</i>
3.2.3	<i>Critérios de adequabilidade</i>	<i>38</i>
3.3	METODOLOGIA	52
3.3.1	<i>Metodologia Etapa 1 – Mapa inicial</i>	<i>56</i>
3.3.2	<i>Metodologia Etapa 2 - Seleção das áreas residuais</i>	<i>56</i>
3.3.3	<i>Metodologia Etapa 3 - Hierarquização das áreas com maior aptidão..</i>	<i>57</i>
3.3.4	<i>Metodologia Etapa 4 – Análise económica para uma CSFV.....</i>	<i>59</i>
4	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO	61
4.1	APRESENTAÇÃO DO SOFTWARE <i>ARCGIS</i>	61
4.2	ETAPA 1 – MAPA INICIAL	61
4.3	ETAPA 2 - ELABORAÇÃO DA CARTA DE CONDICIONANTES	67
4.3.1	<i>Uso do Solo.....</i>	<i>67</i>
4.3.2	<i>Fatores Geotécnicos.....</i>	<i>68</i>
4.3.3	<i>Seleção da Área Disponível</i>	<i>76</i>
4.3.4	<i>Carta de Condicionantes Final</i>	<i>78</i>

4.4	ETAPA 3 - ELABORAÇÃO DE CARTA DE ADEQUABILIDADE	80
4.4.1	<i>Critérios Sociais</i>	80
4.4.2	<i>Critérios Técnicos</i>	85
4.4.3	<i>Critérios Naturais</i>	89
4.4.4	<i>Parametrização dos critérios</i>	101
4.4.5	<i>Cartas de adequabilidade para cada respectivo cenário</i>	106
4.5	ETAPA 4 - ELABORAÇÃO DAS CARTAS DE RENDIBILIDADE	114
5	ETAPA 5 - ANÁLISE DE RESULTADOS	125
5.1	DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS DE EXCLUSÃO.....	125
5.2	CARTAS DE ADEQUABILIDADE POR DISTRITO.....	126
5.3	CARTAS DE RENDIBILIDADE.....	135
6	CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	137
6.1	CONCLUSÕES FINAIS.....	137
6.2	TRABALHOS FUTUROS	140
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
	ANEXOS	1

Índice de Figuras

FIGURA 2.1.1 - MAPA HIPOMÉTRICO DE PORTUGAL CONTINENTAL À ESCALA DE 1:1000000 (RETIRADO DE "DADOS GEOQUÍMICOS DE BASE DE SEDIMENTOS FLUVIAIS DE AMOSTRAGEM DE BAIXA DENSIDADE DE PORTUGAL CONTINENTAL: ESTUDO DE FATORES DE VARIAÇÃO REGIONAL"	6
FIGURA 2.1.2 - CLIMA DE PORTUGAL CONTINENTAL SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO DE <i>KOPPEN</i> , DE ACORDO COM O IPMA.	7
FIGURA 2.1.3 - CLASSIFICAÇÃO ANUAL DO TIPO DE PRECIPITAÇÃO ANUAL RECORRENDO AO ÍNDICE <i>SPI</i> , DE ACORDO COM O IPMA.....	8
FIGURA 2.1.4 - MAPA DE IRRADIAÇÃO MÉDIA ANUAL DE PORTUGAL CONTINENTAL, RETIRADO DA PLATAFORMA IPMA	9
FIGURA 2.2.1 - BALANÇO ENERGÉTICO DE 2015 EM PORTUGAL SEGUNDO A DGEG.....	13
FIGURA 2.2.2 - CONTRIBUIÇÃO DE FER PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, SEGUNDO OS DADOS DA DGEG	14
FIGURA 2.3.1 - EXEMPLO DE OUTPUT TÍPICO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE <i>ARC GIS ELETRIC DISTRIBUTION</i> , SEGUNDO A <i>ESRI</i>	19
FIGURA 2.3.2 - ORIENTAÇÃO DO EFEITO DE SOMBREAMENTO MÉDIO DE ACORDO COM (<i>POLO ET AL., 2018</i>)	21
FIGURA 2.3.3 – IRRADIAÇÃO GLOBAL ANUAL DE IRRADIAÇÃO NA EUROPA, DE ACORDO COM O PGVIS, 2006.....	23
FIGURA 2.4.1 - PRODUÇÃO FV POR HABITANTE SEGUNDO A REFERÊNCIA (EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, 2018)	29
FIGURA 3.2.1 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DO CÁLCULO DA DISTÂNCIA DE SOMBREAMENTO DE UM MÓDULO.....	35
FIGURA 3.3.1 – METODOLOGIA APLICADA SIMPLIFICADA	53
FIGURA 3.3.2 – LISTAGEM DE PARÂMETROS PARA OS CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO E DE ADEQUABILIDADE	53
FIGURA 3.3.3 - METODOLOGIA PORMENORIZADA PARA CADA FASE DESTA DISSERTAÇÃO	55
FIGURA 3.3.4 - ESQUEMA DO DESENVOLVIMENTO DA 2ª FASE DO MODELO SIG.....	56
FIGURA 4.2.1 - DADOS PRÉ-ESTABELECIDOS PARA A CONSTRUÇÃO DA AMOSTRAGEM DE PONTOS A PARTIR DO <i>PVGIS</i>	62
FIGURA 4.2.2 - REDE DE PONTOS AMOSTRADOS PARA ESTIMAÇÃO GEOESTATÍSTICA	63
FIGURA 4.2.3 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DO MÊS DE JANEIRO AO LONGO DO DIA SEGUNDO OS DADOS OBTIDOS PELA PLATAFORMA <i>PVGIS</i>	64
FIGURA 4.2.4 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADO À IRRADIAÇÃO.....	65
FIGURA 4.2.5 - MAPA ESTIMADO DE IRRADIAÇÃO NO PLANO ÓTIMO POR PORTUGAL CONTINENTAL (MAPA INICIAL)	66
FIGURA 4.3.1 - APLICAÇÃO DA FUNÇÃO BUFFER A INDÚSTRIAS E LIXEIRAS	68
FIGURA 4.3.2 - METODOLOGIA SIG APLICADA AOS PRINCIPAIS RIOS.....	70
FIGURA 4.3.3 - APLICAÇÃO DA FUNÇÃO BUFFER AOS PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUA	70
FIGURA 4.3.4 - ÁREAS DE EXCLUSÃO DO PARÂMETRO HIDROLÓGICO	71
FIGURA 4.3.5 - APLICAÇÃO DA FUNÇÃO BUFFER A ÁREAS COM A LITOLOGIA ALUVIÃO.....	72
FIGURA 4.3.6 – SELEÇÃO DE FALHAS ATIVAS E APLICAÇÃO DE PERÍMETROS DE PROTEÇÃO (<i>BUFFER</i>)	73
FIGURA 4.3.7 - PERÍMETRO DE PROTEÇÃO APLICADO A CONSTRANGIMENTOS DE NATUREZA GEOLÓGICA.....	74
FIGURA 4.3.8 - METODOLOGIA APLICADA AO DECLIVE DO TERRENO.....	75
FIGURA 4.3.9 - MAPA INICIAL DE ÁREAS RESIDUAIS	76
FIGURA 4.3.10 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS MENORES QUE 117 HECTARES.....	77
FIGURA 4.3.11 - MAPA DE ÁREA TOTAL DE EXCLUSÃO POR PARÂMETROS.....	78
FIGURA 4.3.12 - MAPA FINAL DE ÁREAS RESIDUAIS	79
FIGURA 4.4.1 - DENSIDADE POPULACIONAL SEGUNDO OS DADOS DA (INE, 2011).....	81

FIGURA 4.4.2 - METODOLOGIA APLICADA AOS POTENCIAIS CONSUMIDORES DOMÉSTICOS.....	82
FIGURA 4.4.3 - METODOLOGIA APLICADA AO PARÂMETRO POTENCIAIS CONSUMIDORES INDUSTRIAIS.....	83
FIGURA 4.4.4 - PROCESSO METODOLÓGICO APLICADO AO PARÂMETRO ÁREAS CLASSIFICADAS.....	84
FIGURA 4.4.5 - SELEÇÃO DAS LINHAS DE BAIXA E MÉDIA TENSÃO	86
FIGURA 4.4.6 - METODOLOGIA SIG APLICADA À REDE DE TRANSPORTE DE ENERGIA.....	87
FIGURA 4.4.7 - REDE VIÁRIA DE PORTUGAL CONTINENTAL	88
FIGURA 4.4.8 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO ESTRADAS E ACESSOS	88
FIGURA 4.4.9 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO IRRADIAÇÃO SOLAR	89
FIGURA 4.4.10 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO EXPOSIÇÃO SOLAR	91
FIGURA 4.4.11 - VALIDAÇÃO CRUZADA APLICADA À KRIGAGEM FEITA PARA A TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA	92
FIGURA 4.4.12 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA	93
FIGURA 4.4.13 - RECLASSIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA A CORPOS DE ÁGUA NUMA PERSPETIVA AMBIENTAL	95
FIGURA 4.4.14 - MAPA FINAL PARA O PARÂMETRO DISPONIBILIDADE DE ÁGUA SOB UMA PERSPETIVA AMBIENTAL.	95
FIGURA 4.4.15 - RECLASSIFICAÇÃO DA DISTÂNCIA A CORPOS DE ÁGUA NUMA PERSPETIVA TÉCNICA.....	96
FIGURA 4.4.16 - MAPA FINAL PARA O PARÂMETRO DISPONIBILIDADE DE ÁGUA SOB UMA PERSPETIVA TÉCNICA	97
FIGURA 4.4.17 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADA À HUMIDADE DO AR RELATIVA	98
FIGURA 4.4.18 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO HUMIDADE DO AR RELATIVA	99
FIGURA 4.4.19 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO DECLIVE	100
FIGURA 4.4.20 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO ATITUDE	100
FIGURA 4.4.21 - METODOLOGIA SIG APLICADA AO PARÂMETRO ORIENTAÇÃO	101
FIGURA 4.4.22 - ANÁLISE HIERÁRQUICA DOS PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO NUMA PERSPETIVA TÉCNICA	104
FIGURA 4.4.23 - ANÁLISE HIERÁRQUICA DOS PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO NUMA PERSPETIVA AMBIENTAL.....	105
FIGURA 4.4.24 - CENÁRIO DE PARÂMETROS COM IGUAL IMPORTÂNCIA.....	106
FIGURA 4.4.25 - MAPA DE ADEQUABILIDADE PARA UM CENÁRIO DE PESOS IGUAIS	107
FIGURA 4.4.26 - MAPA DE ADEQUABILIDADE PARA UM CENÁRIO TÉCNICO	109
FIGURA 4.4.27 - MAPA DE ADEQUABILIDADE TENDO EM VISTA A PRIMEIRA SIMULAÇÃO PARA O CENÁRIO AMBIENTAL	111
FIGURA 4.4.28 - ANÁLISE HIERÁRQUICA DOS PARÂMETROS DE PONDERAÇÃO NUMA PERSPETIVA AMBIENTAL.....	112
FIGURA 4.4.29 - CARTA DE ADEQUABILIDADE TENDO EM VISTA UM CENÁRIO AMBIENTAL	113
FIGURA 4.5.1 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADA AO INDICADOR LCOE.....	117
FIGURA 4.5.2 - INTERSEÇÃO DO MAPA LCOE COM AS ÁREAS RESIDUAIS.....	118
FIGURA 4.5.3 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADA AO INDICADOR ECONÓMICO TIR	119
FIGURA 4.5.4 - INTERSEÇÃO DO MAPA TIR COM AS ÁREAS RESIDUAIS.....	120
FIGURA 4.5.5 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADA AO INDICADOR ECONÓMICO PARA O INDICADOR ECONÓMICO VAL.....	121
FIGURA 4.5.6 - INTERSEÇÃO DO MAPA VAL COM AS ÁREAS RESIDUAIS.....	122
FIGURA 4.5.7 - VALIDAÇÃO CRUZADA DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADA AO INDICADOR ECONÓMICO PRI	123
FIGURA 4.5.8 - DISTRIBUIÇÃO NORMAL DO MODELO DE KRIGAGEM SIMPLES APLICADO AO INDICADOR ECONÓMICO PRI	123
FIGURA 5.1.1 - PERCENTAGEM DE ÁREAS DE EXCLUSÃO PARA CADA DISTRITO	125
FIGURA 5.2.1 - CLASSIFICAÇÃO GERAL DE CADA DISTRITO PARA O CENÁRIO DE PESOS IGUAIS	127

FIGURA 5.2.2 - CLASSIFICAÇÃO GERAL SEM ÁREAS DE EXCLUSÃO PARA CADA DISTRITO PARA O CENÁRIO DE PESOS IGUAIS.....	127
FIGURA 5.2.3 – CLASSIFICAÇÃO COM ÁREAS DE EXCLUSÃO DE CADA DISTRITO PARA O CENÁRIO TÉCNICO	130
FIGURA 5.2.4 - CLASSIFICAÇÃO SEM ÁREAS DE EXCLUSÃO DE CADA DISTRITO PARA O CENÁRIO TÉCNICO	130
FIGURA 5.2.5 - CLASSIFICAÇÃO COM ÁREAS DE EXCLUSÃO PARA O CENÁRIO AMBIENTAL	133
FIGURA 5.2.6 - CLASSIFICAÇÃO SEM ÁREAS DE EXCLUSÃO PARA O CENÁRIO AMBIENTAL.....	133
FIGURA 5.3.1 - EVOLUÇÃO DO INDICADOR TIR, CONSOANTE A VARIAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA	135
FIGURA 5.3.2 - EVOLUÇÃO DO INDICADOR PRI, CONSOANTE A VARIAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA	135
FIGURA 5.3.3 - EVOLUÇÃO DO INDICADOR VAL, CONSOANTE A VARIAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA	136
FIGURA 5.3.4 - EVOLUÇÃO DO INDICADOR LCOE, CONSOANTE A VARIAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA.....	136

Índice de Tabelas

TABELA 2.3.1 - TIPOS DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO SEGUNDO (YUNNA & GENG, 2014).....	22
TABELA 2.4.1 - LEVANTAMENTO GLOBAL DAS 10 MAIORES CENTRAIS FV A NÍVEL GLOBAL E DE CSFV PORTUGUESAS DE ACORDO COM (LENARDIC, 2019).....	28
TABELA 3.2.1 - ÁREA DIRETA REQUERIDA PARA CENTRAIS SOLARES FV COM CAPACIDADE SUPERIOR A 20 MW, DE ACORDO COM (ONG ET AL., 2013)	37
TABELA 3.2.2 - DISTÂNCIAS DE PROTEÇÃO APLICÁVEIS PARA OS PARÂMETROS DE EXCLUSÃO	38
TABELA 3.2.3 - CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA A ÁREAS CLASSIFICADAS	38
TABELA 3.2.4 - CLASSIFICAÇÕES DADAS À DISTÂNCIA DE POTENCIAIS CONSUMIDORES SEGUNDO VÁRIOS AUTORES	39
TABELA 3.2.5 - CLASSIFICAÇÕES DADAS À DISTÂNCIA ÀS REDES DE TRANSPORTE DE ENERGIA SEGUNDO VÁRIOS AUTORES.....	41
TABELA 3.2.6 - CLASSIFICAÇÕES ATRIBUÍDAS À DISTÂNCIA DE ESTRADAS E ACESSOS SEGUNDO VÁRIOS AUTORES....	42
TABELA 3.2.7 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DA TEMPERATURA NOS MÓDULOS PARA MÓDULOS DE SILÍCIO CRISTALINO DE ACORDO COM (NOOROLLAHI ET AL., 2016) E (DOORGA ET AL., 2019)	43
TABELA 3.2.8 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DOS DECLIVES DE ACORDO COM VÁRIOS AUTORES.....	43
TABELA 3.2.9 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DA ORIENTAÇÃO NOS MÓDULOS SEGUNDO (GIAMALAKI & TSOUTSOS, 2019) E (DOORGA ET AL., 2019).....	44
TABELA 3.2.10 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DE PONTOS DE ALTITUDE NOS MÓDULOS SEGUNDO (GIAMALAKI & TSOUTSOS, 2019) E (DOORGA ET AL., 2019)	45
TABELA 3.2.11 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA CONSOANTE A PERSPETIVA TECNO- ECONÓMICA OU PERSPETIVA AMBIENTAL	46
TABELA 3.2.12 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DA IRRADIAÇÃO SEGUNDO VÁRIOS AUTORES	46
TABELA 3.2.13 - CLASSIFICAÇÃO DO EFEITO DA EXPOSIÇÃO SOLAR SEGUNDO (NOOROLLAHI ET AL., 2016) E (DOORGA ET AL., 2019).....	47
TABELA 3.2.14 - CLASSIFICAÇÃO DA HUMIDADE DE ACORDO COM (NOOROLLAHI ET AL., 2016) E (DOORGA ET AL., 2019)	48
TABELA 3.2.15 - TABELA DE CRITÉRIOS QUE JUSTIFICAM A CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA COMO MUITO ELEVADA NAS CARTAS DE ADEQUABILIDADE	48
TABELA 3.2.16 - TABELA DE CRITÉRIOS QUE JUSTIFICAM A CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA COMO ELEVADA NAS CARTAS DE ADEQUABILIDADE	49
TABELA 3.2.17 - TABELA DE CRITÉRIOS QUE JUSTIFICAM A CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA COMO MODERADA NAS CARTAS DE ADEQUABILIDADE	49
TABELA 3.2.18 - TABELA DE CRITÉRIOS QUE JUSTIFICAM A CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA COMO ADEQUABILIDADE REDUZIDA NAS CARTAS DE ADEQUABILIDADE	50
TABELA 3.2.19 - TABELA DE CRITÉRIOS QUE JUSTIFICAM A CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA COMO NÃO ADEQUADA OU DE EXCLUSÃO NAS CARTAS DE ADEQUABILIDADE	51
TABELA 3.3.1 – FONTES E ESCALAS DOS MAPAS UTILIZADOS PARA OS CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	57
TABELA 3.3.2 - ESCALA ATRIBUÍDA E SUA RESPECTIVA CLASSIFICAÇÃO	58
TABELA 3.3.3 - ESCALA DE INTENSIDADE DE PESOS SEGUNDO A “ESCALA FUNDAMENTAL DE SAATY’S” SEGUNDO (DOORGA ET AL., 2019).....	58
TABELA 4.2.1 - TABELA COM EXEMPLOS DE AMOSTRAS CRIADAS A PARTIR DA ANÁLISE DE DADOS USANDO O PVGIS	64
TABELA 4.3.1 - CATEGORIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE EXCLUSÃO.....	69
TABELA 4.4.1 - LEGENDA COM A SIMBOLOGIA APLICADA NA ANÁLISE DE PARÂMETROS.....	102

TABELA 4.4.2 - DIAGRAMA DE SAATY APLICADO A UM CENÁRIO TÉCNICO	102
TABELA 4.4.3 -DIAGRAMA DE SAATY APLICADO A UM CENÁRIO AMBIENTAL.....	103
TABELA 4.4.4 - DISTRIBUIÇÃO DE PESOS ATRIBUÍDOS PARA ESTE MODELO CONSOANTE CADA CENÁRIO	103
TABELA 4.4.5 - ATRIBUIÇÃO DE PESOS CONSOANTE AS SIMULAÇÕES FEITAS	112
TABELA 4.5.1 - ESPECIFICAÇÕES DO MÓDULO <i>ULICA-POLY 265W 35MM</i>	114
TABELA 4.5.2 - VALORES ECONÓMICOS MÁXIMOS E MÍNIMOS REGISTRADOS	116
TABELA 4.5.3 - TABELA COM A VARIAÇÃO DA ÁREA MÍNIMA DE INSTALAÇÃO, PREÇO DE VENDA DE ENERGIA À REDE E CUSTOS DE INSTALAÇÃO CONSOANTE A POTÊNCIA INSTALADA NA CSFV	124
TABELA 5.2.1 - RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO DE PESOS IGUAIS.....	126
TABELA 5.2.2 - RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO TÉCNICO.....	129
TABELA 5.2.3 - RESULTADOS OBTIDOS NO CENÁRIO AMBIENTAL.....	132
TABELA 5.3.1 - VARIAÇÃO DOS INDICADORES ECONÓMICOS PARA UMA MESMA LOCALIZAÇÃO (COORDENADA nº.105)	135
TABELA 6.1.1 - TABELA SÍNTESE DAS CLASSIFICAÇÕES ATRIBUÍDAS AOS DISTRITOS.....	139

Lista de Acrónimos, Abreviaturas e Símbolos

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental
AM – Fator de massa de ar
AT – Alta tensão
BT – Baixa tensão
CAD – *Computer Aided Design*
CRM – Comercializador em Regime de Mercado
CSFV – Central Solar Fotovoltaica
CUR – Comercializador de Último Recurso
DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia
DNI - Irradiância Normal Direta
DIF - Irradiância Horizontal Difusa
EDP – Energias de Portugal
FER – Fonte de Energia Renovável
FV – Fotovoltaica
GHI - Irradiância global horizontal
GTI - Irradiância global em plano inclinado
IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera
JRC - *European Commission Joint Research Centre*
LCOE – *Levelized Cost Of Energy*
MT – Média Tensão
MDT – Modelo Digital de Terreno
MR - Mercado Regulado
ML - Mercado Livre
PAH – Processo de Análise Hierárquica
PVGIS - *Photovoltaic Geographical Information System*
PRI – Período de Retorno de Investimento
PRE – Produção de Regime Especial
PRO – Produção de Regime Ordinário
SIG – Sistema de Informação Geográfica
TIR – Taxa Interna de Rentabilidade
REN – Redes Energéticas Nacionais
RESP - Rede Elétrica de Serviço Público
RNT - Rede Nacional de Transporte de Eletricidade
SGBD - Sistema de Gestão de Base de Dados
SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SPI - *Standardized Precipitation Index*
STC – *Standard Temperature Condition*

UPP – Unidade de Pequena Produção

VAL – Valor Atual Líquido

1 Introdução

1.1 Enquadramento do tema

Uma das possíveis ferramentas para a potencialização das energias renováveis consiste num bom ordenamento do território. Atualmente, são vários os métodos recorridos de forma a realizar-se uma melhor gestão do território. Um dos métodos mais recorridos, consiste numa pré-análise do espaço, recorrendo a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) onde são criados mapas digitais de forma a ser facilitada uma melhor compreensão das características físicas ao longo de um território (características meteorológicas, geotécnicas, necessidades energéticas locais, entre outras), que no seu conjunto permitam auxiliar a uma melhor decisão quanto à localização da instalação da Central Solar Fotovoltaica (CSFV). Uma outra observação em relação a este tema, é a necessidade do enquadramento da rendibilidade de um projeto, pois esse é também um fator de bastante importância na avaliação de escolha de uma CSFV, pelo que nesta dissertação propõe-se procurar uma maximização da adequabilidade e rendibilidade para este tipo de projetos.

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo central, criar um sistema de apoio à decisão que permita maximizar tanto indicadores de adequabilidade como indicadores económicos relativos à produção de energia solar em Portugal, através da análise de dados feita num Sistema de Informação Geográfica. Pretende-se obter resultados em relação à quantificação do potencial energético em Portugal, bem como se pretende analisar a sua distribuição pelo território, assim como definir e mapear as áreas mais favoráveis à instalação de sistemas energéticos renováveis provenientes do aproveitamento da energia solar. Desta forma, com esta dissertação pretende-se aplicar modelos e técnicas que possibilitem quantificar o potencial energético solar em Portugal e a sua distribuição pelo território face às condições naturais do país, bem como avaliar como este recurso pode ser aproveitado como uma alternativa viável às fontes de combustíveis fósseis.

Será expectável, que partindo da quantificação e distribuição do recurso, seja possível definir as áreas mais favoráveis para instalação de parques de produção de energia solar, mediante uma análise multicritério, potencializando as capacidades dos SIG. Este ensaio de localização teve em conta a maximização do aproveitamento da energia solar, bem como terá também em conta a minimização dos impactos ambientais, bem como o ajuste da localização a um melhor ordenamento territorial da exploração deste recurso energético renovável. Após o mapeamento das áreas mais favoráveis à instalação deste tipo de sistemas energéticos, ter-se-á como objetivo

analisar os resultados obtidos e sob este, tecer uma crítica quanto aos mesmos, de forma a que seja possível avaliar a proximidade destes mapas face a resultados que sejam obtidos em campo.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em 6 Capítulos, organizados numa sequência lógica de acordo com os objetivos pretendidos.

- **Capítulo 1 - Introdução**
- **Capítulo 2 – Estado de Arte**
- **Capítulo 3 – Análise multicritério**
- **Capítulo 4 – Implementação**
- **Capítulo 5 – Etapa 5 - Análise de Resultados**
- **Capítulo 6 – Conclusões finais e trabalhos futuros**

No Capítulo 1, é feito um enquadramento genérico de Portugal, bem como é feita uma descrição dos objetivos e contributos adicionais desta dissertação e no final, é apresentada a metodologia a ser usada.

No Capítulo 2, apresenta-se uma introdução aos conceitos que estarão presentes nesta dissertação. Neste capítulo são concebidas mais algumas considerações gerais e são abordados alguns conceitos e desenvolvimentos do aproveitamento da energia solar em Portugal, bem como será abordado o tema dos Sistemas de Informação Geográfica. No final do setor da energia solar será demonstrado o potencial solar de Portugal Continental (quantidade e distribuição), através da análise de valores estimados no PVGIS.

O Capítulo 3 e o Capítulo 4, são inteiramente dedicados ao desenvolvimento do caso de estudo, sendo que este se organiza em três problemáticas:

1. Estabelecer quais os critérios que levam à valorização/desvalorização da exploração do recurso em estudo;
2. Localizar as áreas mais favoráveis para a sua exploração;
3. Quantificar economicamente o valor económico do recurso.

O Capítulo 3 inicia-se com o estabelecimento dos critérios que serão aplicados de forma a ser possível avaliar o potencial solar e a sua distribuição territorial ao longo de Portugal Continental. Como tal, será procedido à enumeração de vários critérios, sendo que estes foram divididos em 2 categorias:

- **Critérios de Exclusão –** Consistem em critérios que impeçam por completo a implementação do projeto (como por exemplo a implementação em áreas ambientalmente protegidas, entre outros);

- **CrITÉrios de PonderaÇão** – Consiste num grupo de parâmetros que pode valorizar ou desvalorizar o projeto, mas que não sejam tidos em conta como parâmetros de exclusão para a instalação de uma CSFV.

Após a definição dos critérios bem como a sua respetiva parametrização, segue-se para o Capítulo 4, onde será feita a implementação dos parâmetros. Esta aplicação, visa a localização das áreas mais favoráveis para a instalação de CSFV. A análise multicritério foi aplicada consoante a bibliografia consultada e projetos análogos. Por último neste capítulo, após a aplicação dos parâmetros referidos, estes levarão à localização das áreas mais favoráveis. Com base nesses parâmetros, será feita uma análise económica para os projetos, onde serão postos alguns critérios fixos que serão enumerados de seguida:

- Investimento inicial (preço de venda por MWp e Potência instalada);
- Taxa de atualização;
- Custos de Operação e Manutenção;
- Horizonte de investimento;
- Tipo de tecnologia aplicada.

Partindo da fixação dos critérios acima enumerados, será posteriormente medida a rendibilidade deste tipo de projeto ao longo de Portugal Continental.

No Capítulo 5, será feita uma análise mais em detalhe dos resultados obtidos no Capítulo 4 bem como se pretenderá estabelecer correlações entre os mapas de adequabilidade e os mapas de rendibilidade.

No Capítulo 6, será reservado para as conclusões onde serão tecidas considerações gerais sobre os resultados obtidos, bem como se apresentará perspetivas futuras para a continuidade e aprofundamento desta investigação.

1.4 Contribuições Originais

Da pesquisa realizada, é possível inferir-se que a metodologia SIG utilizada até agora, baseia-se essencialmente, na avaliação de parâmetros de adequabilidade. Porém quando abordada a dimensão económica, esta não é contemplada em sistemas de apoio à decisão a partir do uso de Sistemas de Informação Geográfica. Como tal, nesta dissertação será procurado explorar esta vertente e conseguir depreender quais os impactos da adição desta dimensão na escolha do local para a instalação de uma CSFV.

Ainda dentro desta temática, quando se procura escolher uma localização para a instalação de CSFV, procura-se fazer um estudo de viabilidade económica, onde deste é possível inferir se o projeto é ou não viável economicamente. Dentro desta temática, para esta dissertação são analisados os seguintes indicadores económicos:

- **TIR** – Taxa Interna de Rentabilidade
- **VAL** – Valor Atual Líquido
- **PRI** – Período de Retorno do Investimento
- **LCOE** – *Levelized Cost of Energy*

Nesta dissertação pretende-se também, avaliar e averiguar a existência de correlações entre os mapas de adequabilidade e o mapa de rendibilidade, onde o maior foco se situará na maximização dos indicadores económicos com os indicadores de adequabilidade proporcionando assim uma resposta mais completa ao investidor.

1.5 Metodologia

Para esta dissertação propõe-se seguir os seguintes passos

1. **Elaboração do mapa inicial** – onde será avaliado a distribuição de irradiação solar incidente ao longo do território;
2. **Elaboração da carta de condicionantes** – onde serão excluídas as áreas com características que inviabilizem por completo o projeto;
3. **Elaboração das cartas de adequabilidade** – onde será avaliada a adequabilidade de um determinado local consoantes as suas características regionais;
4. **Elaboração das cartas de rendibilidade** – onde será feita uma análise da rendibilidade de um projeto;
5. **Análise de Resultados** – onde serão analisados os resultados do ponto 3 e 4 onde se estabelecerão conclusões e correlações entre si.

2 Estado de Arte

2.1 Avaliação do potencial de energia solar em Portugal Continental

Caracterização geográfica de Portugal Continental

Portugal Continental localiza-se na extremidade sudoeste da Península Ibérica fazendo fronteira a Norte e Este com Espanha e é limitado a Sul e Oeste pelo Oceano Atlântico Norte. Possui a forma de um quadrilátero que estreita progressivamente de Norte para Sul, com uma área de 89.060 km². A extensão Norte Sul (vai de 42° 09' até 36° 58' N) com uma máxima extensão Leste-Oeste (de 6° 12' até 9° 58' W). (Ferreira, 2000)

Caracterização do relevo em Portugal Continental

Portugal Continental caracteriza-se maioritariamente por áreas de baixa altitude, sendo que mais de 70% do território se encontra abaixo dos 400 metros e com cerca de 12% acima dos 700 metros. (Ferreira, 2000)

Como é possível observar-se na Figura 2.1.1, a maior parte das áreas com maior relevo situam-se a norte do rio Tejo onde é possível encontrar-se a maior parte das elevações acima dos 400 m sendo que é possível observar-se elevações acima dos 1000. As restantes áreas de baixo relevo situam-se entre Espinho, Coimbra e o Cabo da Roca. A área a norte do Tejo (Meseta) apresenta uma altitude média de 800 m, onde se verifica um rebaixamento progressivo em direção à Orla Ocidental. O interior norte montanhoso é recortado por profundos vales encaixados, que transita progressivamente até à zona costeira por uma morfologia mais aplanada. Os pontos mais elevados do continente, como referido anteriormente, situam-se maioritariamente a Norte do rio Tejo e estas consistem na Serra da Estrela (1993 m), Montesinho (1600 m), Gerês (1508 m), Peneda e Marão (1416 m) (Ribeiro, 1987).

Partindo da mesma figura observa-se que a área a sul do Tejo, contrariamente ao caso anterior, o relevo apresenta características de peneplanície, com terrenos suavemente ondulados, sendo que nesta zona a Sul encontra-se para Oeste, formações sedimentares da bacia do Tejo e Sado, com raros pontos de altitude que ultrapassam os 100m. Este relevo aplanado é limitado a sul pelas serras algarvias, de onde se destaca Monchique (902m) e a serra do Caldeirão (577m). Desta peneplanície emergem algumas serras em que a mais importante é a serra de S. Mamede que raramente ultrapassa os 600m de altitude (Ribeiro, 1987).

Abordando agora a linha costeira é de salientar que a mesma apresenta 850km de extensão, apresentando alternância de arribas e cabos com troços constituídos por grandes areais, de altitude pouco acima do nível do mar. Em suma, a plataforma continental, apresenta um relevo regular e suave, com quatro grandes acidentes (os canhões submarinos da Nazaré, Lisboa, Setúbal e S. Vicente) (Ferreira, 2000).

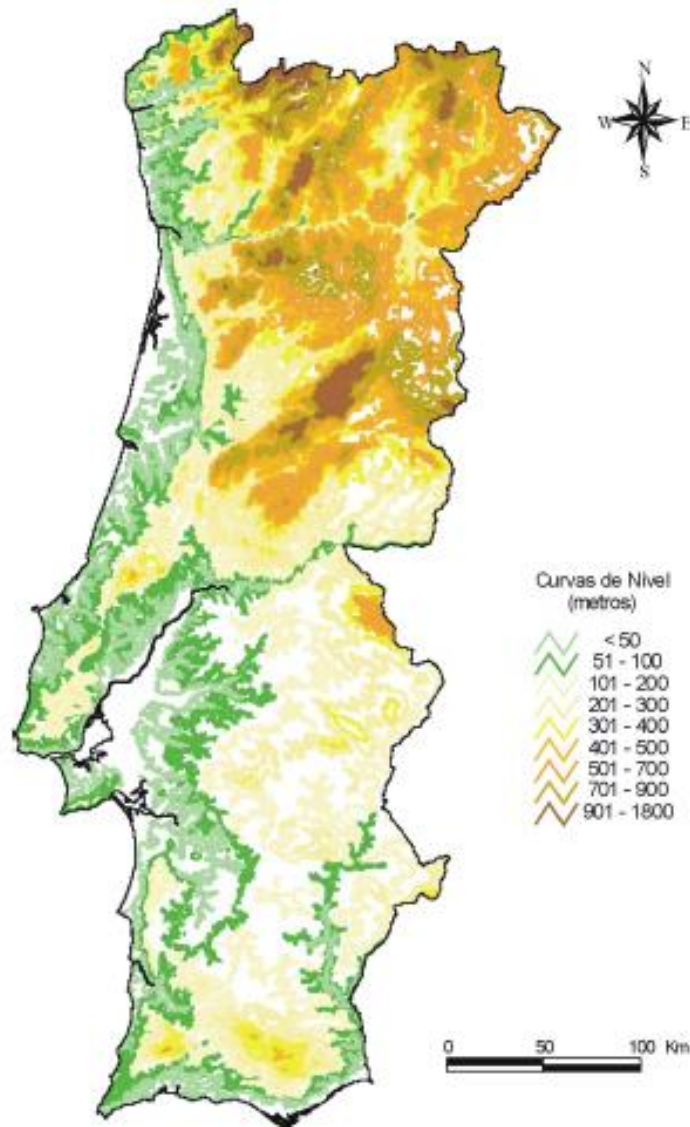


Figura 2.1.1 - Mapa Hipométrico de Portugal Continental à escala de 1:1000000 (retirado de "Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Fatores de Variação Regional")

Caracterização climática de Portugal

Relativamente ao clima, segundo a classificação de *Koppen*, na maior parte do território Continental, o clima é temperado com Verão seco classificado por Cs, sendo que dentro desta caracterização, é possível subdividir-se em duas regiões:

- Região de clima temperado com Inverno chuvoso e com o Verão seco e Quente, (Csa).
- Região de clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente, (Csb).

Contrastando com a caracterização maioritária de Portugal Continental, numa pequena região do Baixo Alentejo, no distrito de Beja, encontra-se um clima árido classificado como BSk (clima de estepe fria da latitude média). Na Figura 2.1.2, apresenta-se a distribuição do clima.

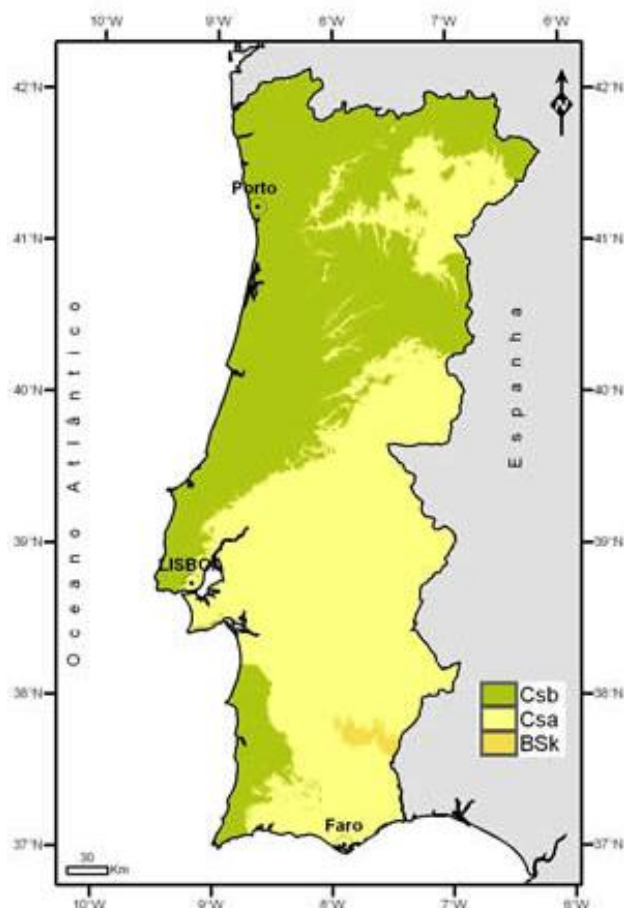


Figura 2.1.2 - Clima de Portugal Continental segundo a classificação de *Koppen*, de acordo com o IPMA.

Ao analisar-se a precipitação típica em Portugal Continental, a mesma é analisada (de uma forma global e em relação à média para um período de tempo específico), a partir do índice SPI (*Standardized Precipitation Index*). (IPMA; 2011)

O índice SPI corresponde à probabilidade cumulativa de um determinado acontecimento de precipitação a ocorrer numa determinada estação. O resultado computacional da precipitação, é linearmente proporcional ao défice de precipitação. que por sua vez permite especificar a probabilidade, percentagem da média e o défice de precipitação acumulada. Na Figura 2.1.3, encontra-se a distribuição de precipitação anual feita entre Abril de 2018 e Março de 2019. (IPMA; 2011)

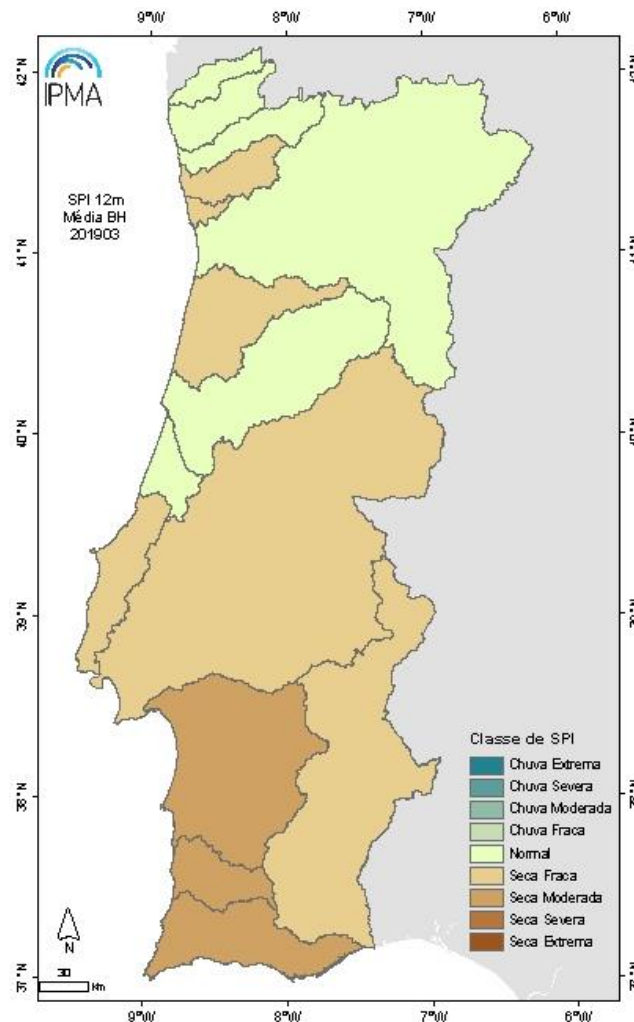


Figura 2.1.3 - Classificação anual do tipo de precipitação anual recorrendo ao índice SPI, de acordo com o IPMA

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera, depende da distância entre o Sol e a Terra. Durante o decorrer do ano, a mesma pode variar entre $1,47 \times 10^8$ km a $1,52 \times 10^8$ km. Devido a este facto, a irradiância global varia entre $1,325 \text{ W/m}^2$ e $1,412 \text{ W/m}^2$. O valor médio é designado por constante solar, $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$. Em semelhança ao que ocorre pelo continente Europeu, são notáveis as diferenças sazonais existentes quando se observa a relação entre a irradiação solar global recebida para os períodos de Verão e de Inverno. Os piranómetros utilizados na rede urbana de estações meteorológicas automáticas são da marca *Mc. Van Instruments* sendo que

o princípio de funcionamento é semelhante ao utilizados na rede Nacional; medem a irradiância numa superfície plana, resultante do fluxo radiativo na banda de comprimentos de onda entre 300nm e 2650nm. (Programa Altener, 2004) Como tal, na Figura 2.1.4 é possível observar-se a irradiação média global medida em Portugal Continental entre os anos de 1971 a 2000:

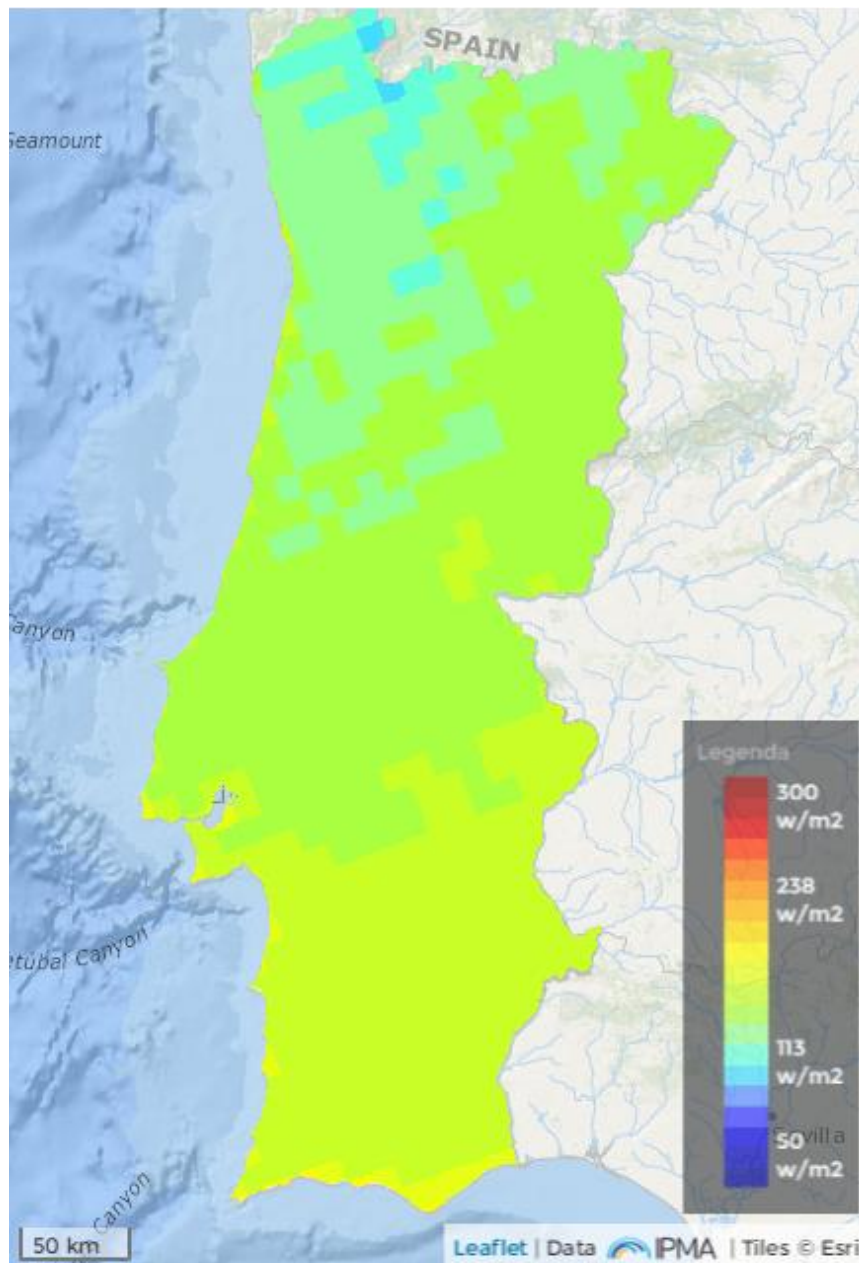


Figura 2.1.4 - Mapa de irradiação média anual de Portugal Continental, retirado da plataforma IPMA

2.2 Introdução ao conceito de energia solar

É possível definir-se a radiação, como sendo um mecanismo de transferência de energia que ocorre a partir de ondas eletromagnéticas, onde esta ocorre diretamente da fonte para fora em todas as direções levando a que as mesmas não precisem de um meio material para se propagar. Como tal, é possível definir-se o Sol como sendo um emissor de energia sob a forma de radiação. Esta emissão de energia ocorre do processo de fusão no núcleo do Sol, levando assim à transformação de núcleos de hidrogénio em núcleos de hélio, onde parte da massa é transformada em energia neste processo. Devido à distância existente entre o Sol e a Terra, apenas aproximadamente duas partes por milhão da radiação solar emitida atinge a superfície da Terra, todavia a mesma corresponde a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano. (Programa Altener, 2004)

A radiação solar incidente sobre uma superfície, dentro da atmosfera terrestre apresenta três componentes:

1. **Radiação direta** – A radiação proveniente diretamente do sol (Programa Altener, 2004);
2. **Radiação difusa** – A radiação proveniente de todo o céu à exceção do disco solar, ou seja, ao atravessar a atmosfera, parte dela é refletida pelos componentes atmosféricos (nuvens), sendo que a outra parte, é absorvida por gases constituintes da atmosfera como o Ozono (O_3), Oxigénio (O_2), vapor de água (H_2O) entre outros, sendo que a restante é difundida (Programa Altener, 2004);
3. **Radiação refletida** – Tipo de radiação proveniente da reflexão do sol em contato com a superfície e com objetos circundantes. A refletividade do chão é designada por albedo e depende da composição e cor da superfície (Programa Altener, 2004).

A irradiação solar ou insolação solar, define-se como o valor instantâneo de energia solar que alcança uma determinada superfície por unidade de área e por unidade de tempo ($Wh/m^2/dia$), a irradiância solar por outro lado, consiste na intensidade de radiação incidente na superfície de um elemento dividido pela área da sua superfície (W/m^2), ou seja a irradiância descreve a densidade de radiação que a superfície de um objeto recebe (Commission, 2019).

A irradiância solar depende da altura do Sol, sendo que a altura do Sol, é calculada a partir de uma base horizontal. Como tal, a altura do Sol vai mudando ao longo do dia e durante o ano. A luz solar toma o percurso mais curto através da atmosfera quando a posição do Sol é perpendicular à superfície da Terra. Se o ângulo de incidência solar é mais baixo, o percurso através da atmosfera é mais longo (Programa Altener, 2004).

Como tal, caso o sol esteja mais baixo, este levará a uma maior absorção e difusão da radiação solar, o que implica uma menor irradiância. Para medir a massa de ar (fator AM), a mesma é definida do seguinte modo:

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma_s}, \text{ sendo } \gamma_s \text{ a altura do Sol} \quad (1)$$

Neste contexto, $AM = 1$ quando a posição do Sol é perpendicular ($\gamma_s = 90^\circ$). Isto corresponde à posição solar no equador ao meio dia, no início da Primavera ou do Outono.

De forma a melhor descrever a geração de energia elétrica a partir do recurso solar, para um determinado intervalo de tempo é importante analisar as várias componentes da radiação solar dado que a irradiância refere-se à potência solar (energia instantânea) para uma determinada unidade de área (W/m^2) (Solargis, 2016).

Partindo deste ponto, deve-se subdividir as seguintes componentes da irradiância:

- **Irradiância normal direta (DNI)** – É a componente da irradiância que atinge diretamente a superfície. (Solargis, 2016)
- **Irradiância horizontal difusa (DIF)** – Corresponde à parte da irradiância que é dispersa pela atmosfera, por outras palavras, se DIF for maior que GHI, isso significa que há uma maior quantidade de irradiação que é difundida por ocorrência de nuvens, ou devido a efeitos significativos de poluição atmosférica ou de maior quantidade de vapor de água.
- **Irradiância global horizontal (GHI)** – Define-se pelo somatório das componentes difusas e diretas da irradiância no plano horizontal, sendo que este valor é referenciado como o valor de referência para se comparar o potencial do recurso solar entre diferentes regiões. (Solargis, 2016)
- **Irradiância global em plano inclinado (GTI)** – De forma semelhante ao GHI, este parâmetro corresponde ao somatório das componentes da irradiância, mas para planos inclinados. Ao contrário da anterior, este parâmetro é também afetado pela componente de radiação refletida do chão, sendo que este, é utilizado para testar a performance característica de um painel FV (Solargis, 2016).

Atualmente têm-se vindo a desenvolver novas tecnologias de aproveitamento da energia solar, tanto sob a forma de calor (conversão térmica), como sob forma de eletricidade (conversão Fotovoltaica), através de sistemas de captação ou coletores. Relativamente à produção de energia elétrica a partir da energia solar, a mesma realizada por tecnologia fotovoltaica é realizada através de uma célula solar fotovoltaica (FV) (Domínguez Bravo, 2002).

Os recursos ligados a energia solar têm uma grande variabilidade espacial, pelo que podem ser encontrados em quase todos os lugares. Porém, a insolação incidente num determinado lugar, depende de um conjunto de fatores (Dominguez, 2002a). Assim sendo, existem dois tipos de fatores que influenciam a incidência da radiação solar na superfície terrestre:

- As condições geográficas e a componente temporal (latitude, orientação e hora) (Dominguez, 2002a);
- As condições meteorológicas e climatológicas que determinam a radiação diária recebida e a sua variabilidade estacional. (Dominguez, 2002a);

Quando abordada a análise do potencial solar, a mesma pode ser feita a uma escala global ou a uma escala local, através de vários métodos em função da escala de trabalho. (Casaro & Martins, 2010)

Seguindo esta linha de raciocínio, o potencial de energia solar de um determinado lugar depende dos seguintes fatores:

1. **Realidade local;** ou seja, características geofísicas, fauna, flora, etc (Casaro & Martins, 2010);
2. **Dados meteorológicos disponíveis,** que influenciam a disponibilidade solar a ser explorada (Casaro & Martins, 2010);
3. **Eficiência das tecnologias utilizadas,** que influencia na conversão da energia solar para a conversão FV (Casaro & Martins, 2010);
4. **Fatores socioeconômicos,** encontra-se ligado maioritariamente a posições políticas bem como se encontra motivado pelo preço da energia, fatores que muitas das vezes decisivos para este tipo de projetos (Casaro & Martins, 2010).

Por outro lado, existem três aspetos fundamentais que devem também ser considerados na análise do potencial solar de uma região ou lugar:

1. **Análise do potencial físico,** ou seja, é uma análise feita sobre a incidência da radiação solar sobre a área em análise (Casaro & Martins, 2010);
2. **Análise do potencial geográfico,** ou seja analisa-se as características geográficas do solo que podem influenciar os custos relativos à produção de energia elétrica a partir da captação da irradiação solar sob a superfície do solo (Casaro & Martins, 2010);
3. **Análise do potencial técnico,** que correspondente à eficiência dos painéis fotovoltaicos (FV) utilizados, bem como à distância que um determinado projeto esteja das linhas de transporte de energia (Casaro & Martins, 2010).

2.2.1 Caracterização do sistema energético em Portugal Continental

Quando analisado o perfil do consumo nacional típico de energia primária, de acordo com a Direção Geral da Energia e Geologia, em 2015 Portugal registou-se a seguinte distribuição de tipos de consumos de energia primária nesse mesmo ano:

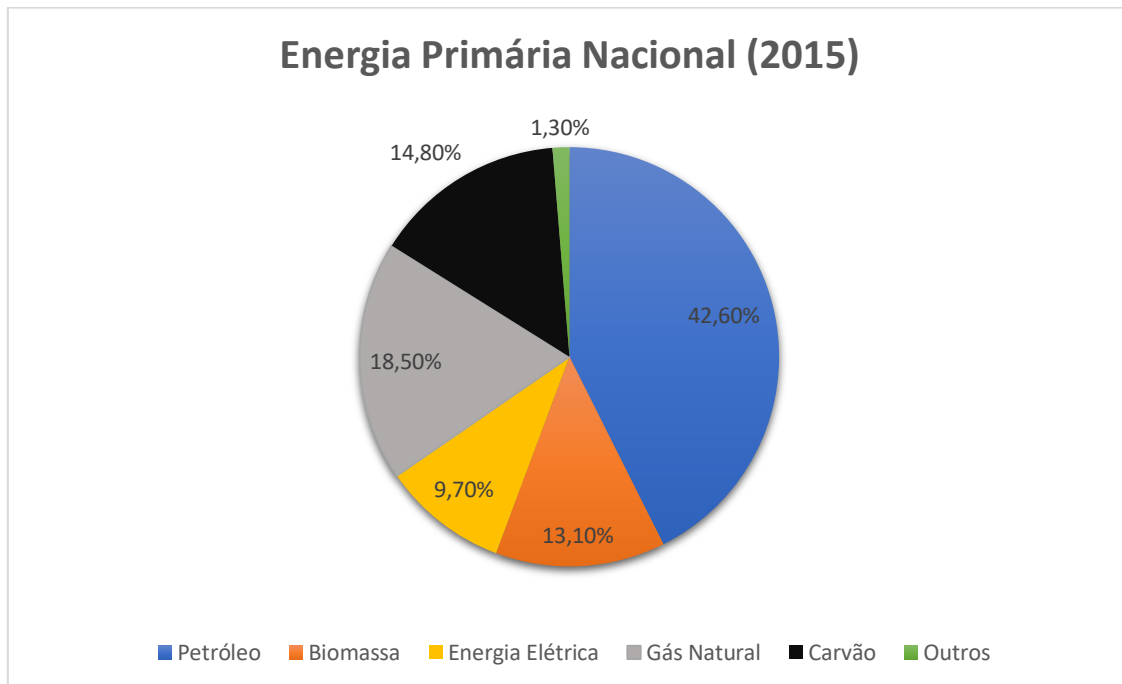


Figura 2.2.1 - Balanço Energético de 2015 em Portugal segundo a DGEG

Pela Figura 2.1.1 é possível observar-se que Portugal, à semelhança do panorama global, continua com uma **forte dependência de produtos petrolíferos**, porém de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia, a tendência é de esta dependência **vir a diminuir** no futuro, sendo que a energia elétrica será a principal fonte de energia a ocupar uma maior parte da percentagem dos consumos finais de energia, pelo que as energias renováveis irão ocupar um papel preponderante para o alcance deste objetivo. Será também importante referir que referentes a este ano, que as FER – Fontes de Energia Renovável, tiveram uma contribuição de 22,2% na produção de energia primária.

De acordo com a DGEG, a exploração de FER em Portugal tem vindo a desenvolver-se, de forma a atingir os objetivos estabelecidos pela Diretiva 2009/28/CE para 2020. Como tal a evolução dessa exploração pode ser observada na seguinte figura:

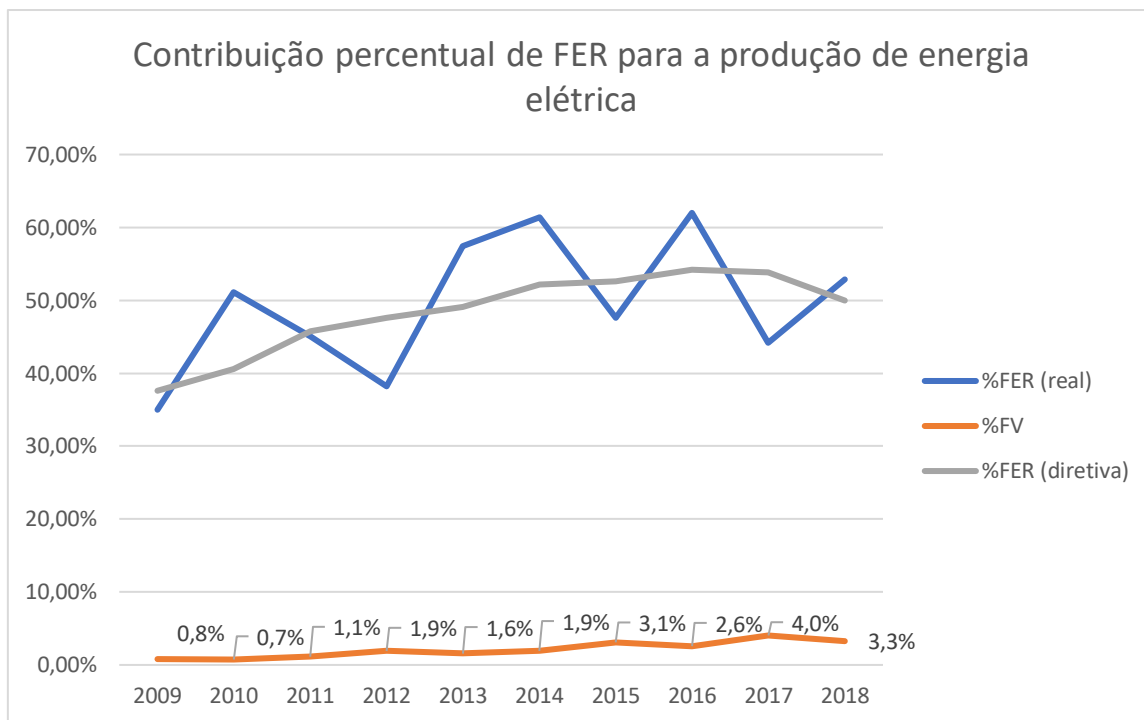


Figura 2.2.2 - Contribuição de FER para a produção de energia elétrica, segundo os dados da DGE

A partir da Figura 2.2.2, é possível constatar-se que Portugal tem conseguido, na maior parte dos anos, atingir valores superiores aos valores estipulados pela norma da Diretiva 2009/28/CE, no entanto observa-se também que existe uma descida abrupta da contribuição das FER nos anos de **2012, 2015 e 2017**, dado que nesses anos foram **anos de seca**, levando assim a menores produções de energia hídrica nesses anos. Como tal, percebe-se que a contribuição das FER se encontra bastante **dependente da energia hídrica**, demonstrando assim a necessidade de ser também necessário recorrer a outras FER alternativas de forma a colmatar o impacto dos anos secos na energia hídrica. Partindo da Figura 2.2.2, percebe-se também que a produção de energia FV ainda possui um peso bastante reduzido. Dadas as características geográficas apresentadas no setor do enquadramento geral de Portugal, torna-se perceptível que a energia FV possui um enorme potencial que ainda não foi completamente explorado. Partindo deste ponto, demonstra-se assim a necessidade que existe em se investir em centrais FV com dimensões e potências instaladas cada vez maiores.

2.2.2 Aproveitamento solar fotovoltaico em Portugal

Relativamente à regulamentação das centrais FV, a mesma começou a ser regulamentada a partir do (Diário da República, 2007), onde foi possível criar um enquadramento da atividade de produção descentralizada de energia elétrica, criando assim o modelo de microgeração, nomeadamente para produções que sejam de pequena produção ou de autoconsumo. Posteriormente a este modelo, em 2011 foi criado o (Diário da República, 2011), que reformulou o modelo anterior criando então, um modelo de minigeração. Neste novo modelo manteve-se o conceito de prosumer porém, neste modelo refere-se que a atividade da pequena escala de produção descentralizada de eletricidade, só pode recorrer a recursos renováveis com uma só tecnologia de produção, cuja potência de ligação à rede seja igual ou inferior a 250 kW, sendo que para tal foram criados escalões de potência de ligação. Estes dois modelos foram importantes para o setor de aproveitamento solar FV pois como o preço da energia que se vendia à rede era superior ao preço da energia que compravam, tornaram-se assim em incentivos que levaram várias empresas a investir na produção de energia elétrica a partir do aproveitamento do recurso solar. No entanto, apesar da importância que estes modelos tiveram, os mesmos já não se encontram em vigor nem são o foco desta dissertação, uma vez que se pretende criar unidades de produção solar com potências superiores às que constavam nestes modelos.

Posteriormente à criação do modelo de minigeração em 2014 a regulamentação deste setor foi novamente regulamentada a partir do (Diário da República, 2014), sendo esta a que se mantém em vigor em Portugal. De acordo com o (Diário da República, 2014), foram criados dois modelos: o modelo de Autoconsumo - Unidade de Produção em Autoconsumo onde a energia injetada é preferencialmente no local de consumo, onde os excedentes podem ser injetados na Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), sendo que a Legislação Portuguesa visa minimizar a injeção de energia na RESP. Por outro lado, existe o modelo de pequena produção: UPP - Unidade de Pequena Produção onde a energia produzida é totalmente injetada na RESP, sendo que a tarifa é feita via leilão.

2.3 Sistemas de Informação Geográfica aplicados à energia solar

2.3.1 Fundamentos de Informação Geográfica

Atualmente, o planeamento de recursos passa pela sua integração em sistemas informáticos de análise de dados que permitem o tratamento e integração da informação em bases de dados espaciais, com vista a promover a gestão otimizada do recurso. Neste contexto, os sistemas de informação geográfica (SIG) apresentam-se como sendo uma poderosa ferramenta na medida em que permitem a edição, gestão, visualização análise e processamento de dados georreferenciados.

Um SIG pode ser definido como um conjunto de ferramentas que se encontra destinado a recolher, arquivar, consultar, transformar e visualizar informação espacial do mundo “real” tendo em vista um determinado projeto. (Burrough & McDonnel, 1996)

Para este tipo de sistemas são utilizados vários modelos de dados, tais como:

- **Modelo Vetorial relacional não topológico** – este modelo resulta da cartografia CAD o que leva a este a operar com objetos sob a forma de pontos, linhas e polígonos sendo normalmente utilizado em modelos de base de dados, onde se pretende fazer uma análise dos mesmos sob a forma de vetor (sob o formato *shape file*); (Burrough & McDonnel, 1996)
- **Modelo matricial dimensional** – O modelo matricial é baseado numa partição do espaço em unidades elementares designadas por pixels ou células (usualmente quadradas ou raramente retangulares), identificadas por índices de linha e coluna e com um único valor associado (sob o formato *raster file*). (Burrough & McDonnel, 1996)

Abordando agora de uma forma mais detalhada, o modelo vetorial resulta da digitalização de objetos com fronteiras bem definidas (dentro dos quais encontram-se pontos, linhas e polígonos), que estão associados a uma base de dados relacional. (Burrough & McDonnel, 1996)

A utilização deste tipo de modelo apresenta o seguinte conjunto de vantagens:

1. Boa representação da estrutura morfológica dos dados (dependendo da qualidade de digitalização); (Burrough & McDonnel, 1996)
2. Ficheiros que recorrem a pouca memória; (Burrough & McDonnel, 1996)
3. Saídas gráficas de grande qualidade. (Burrough & McDonnel, 1996)

Por outro lado, o modelo matricial é baseado numa partição do espaço em unidades elementares designadas por “pixéis” ou células (usualmente quadradas), sendo que estas são identificadas por índices de linha e coluna e com um único valor (atributo) associado. Uma outra característica deste tipo de modelo consiste no facto, de este ter uma estrutura simples, sendo que é usualmente utilizado para a representação de fenómenos de natureza contínua. Apresenta grande facilidade na análise de resultados de sobreposição de diferentes variáveis ou coberturas.

No entanto é necessário referir, que caso num projeto de SIG coexistam os dois tipos de estruturas, de forma a serem efetuadas operações de análise será necessário converter as coberturas para o mesmo tipo de representação (ou seja para formato matricial ou vetorial).

2.3.2 Componentes e módulos de aplicação

De acordo com (*Burrough & McDonnel, 1996*) e (*Matos, 2001*) os SIG apresentam as seguintes funcionalidades:

Edição e atualização de dados

Num SIG, a captura da informação espacial é feita a partir de mapas já existentes, nomeadamente com observações de campo e sensores resultantes de fotografias aéreas, imagens de satélite e métodos de instrumentação de medição e conversão. Com essa informação, procede-se de seguida à sua conversão para formato digital, sendo que para tal são utilizados alguns métodos tais como (*Matos, 2001*):

- Digitalização de informação no écran com o rato;
- Digitalização em mesa;
- Lançamento de dados em folhas de cálculo;
- Scanners;
- Leitura de informação previamente processada ou georreferenciada.

Arquivo e gestão de bases de dados

Após a seleção do tipo de informação a incluir-se no software, este subgrupo tem como intuito incluir o modo de arquivo da informação com a sua posição geográfica respetiva criando assim uma relação entre as entidades dos SIG's e o modo de arquivo estruturado (topologia) com os atributos respetivos descritivos. De forma a fazer a gestão desta informação os SIG's recorrem a um sistema designado por SGBD (Sistema de Gestão de Base de Dados), ou em inglês DBMS (*Database Management System*), que se encarrega de criar uma base de dados que georreferencia os atributos em estudo com a sua localização cartográfica respetiva (*Matos, 2001*).

Como tal, de forma a avaliar a qualidade do SGBD, deve-se ter em conta os seguintes fatores (*Matos, 2001*):

- Redundância de informação;
- Integridade e Proteção dos dados;
- Acesso à informação;
- Cruzamento de informação;
- Manutenção;
- Relação entre os diferentes níveis de informação.

Transformação de dados

Neste subgrupo deve-se subdividir o mesmo em duas classes de funções (Matos, 2001):

- Transformações necessárias para a correção de erros, atualização de informação e correções geométricas (de forma a que seja possível a sobreposição com outras coberturas;
- Conjunto de operações de análise espacial e de pesquisa.

Como tal, dentro destas duas classes de funções um SIG permite as seguintes funcionalidades (Matos, 2001):

- Seleção de entidades de tipo A, como por exemplo poder selecionar uma entidade que seja do tipo área urbana;
- Mostrar a localização da entidade A relativamente a B, como por exemplo comparar local propenso à exploração de energia solar com Zona Ambientalmente Protegida;
- Seleção de ocorrências de uma entidade de tipo A que estejam a uma distância máxima d de uma entidade B, como por exemplo proceder à limitação da construção de uma CSFV que não esteja a uma distância máxima d de uma linha de transporte de energia;
- Avaliação de uma determinada função f numa posição X;
- Cálculo de medidas sobre uma determinada entidade (nomeadamente o cálculo da área, perímetro, ou volume para caso se esteja a trabalhar num modelo tridimensional);
- Determinação do resultado da intersecção ou sobreposição de vários tipos de informação espacial.
- Determinação de caminhos de custo mínimo numa rede de percursos e resistências ao longo de um determinado caminho de X para Y;
- Listagem de atributos de entidades localizadas em X_1 , X_2 ;
- Determinação das entidades com uma determinada combinação de atributos;
- Nova classificação de entidades de acordo com os atributos;
- Utilização de funções do tipo interpolação, ou seja, quando existe uma variabilidade contínua de um atributo e se conhece o valor da propriedade z nos pontos x_1 , x_2 , é possível estimar o valor de z nos pontos y_1 , y_2 ;
- Utilização de fórmulas para derivar novos atributos em função de atributos previamente existentes;
- Simulação do efeito de um processo P numa base temporal T face a um cenário S.

Exportação de dados e apresentação de resultados;

Como o próprio nome indica, este subgrupo tem como intuito a exportação e apresentação dos resultados obtidos sendo que estes podem ser apresentados sob a forma de mapas, tabelas, figuras e vídeos (Matos, 2001).

2.3.3 SIG aplicados à energia solar

Entre 1994 e 1996 foi desenvolvido o projeto *SolarGIS*. Este projeto foi financiado pela União Europeia e desenvolvido por um consórcio entre centros de investigação europeus, coordenado pela ARMINES. Inicialmente, o principal objetivo deste projeto era demonstrar a importância da integração dos SIG nas energias renováveis, como ferramenta de suporte a produção descentralizada de eletricidade, numa série de áreas piloto, bem como recolher dados geográficos e desenvolver ferramentas para determinar o potencial energético solar de uma área (Solargis, 2016),

Em 2001 surgiu um consórcio entre a *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) e a empresa *Miner & Miner*, onde desenharam um SIG, intitulado por *ARCGIS Eletric Distribution*. Este SIG, foi projetado para empresas de eletricidade que gerem sistemas de distribuição de energia elétrica. O projeto corresponde a uma plataforma construída mediante a tecnologia orientada, que fornece uma vista geograficamente orientada para dispositivos de distribuição de eletricidade (estruturas, circuitos, e até mesmo dos clientes), auxiliando os gestores e administradores de serviços públicos, na visualização, análise e compreensão das engenharias que envolve o sistema elétrico, os problemas, e o mais importante, auxilia na tomada de decisões para resolução dos problemas (Perumal, Velumani, & Sadhasivam, 2015).

O principal objetivo do sistema é proporcionar maior eficiência operacional e benefícios comerciais que transcende os limites tradicionais do mapeamento em SIG, sendo que o típico output recebido de este género de projetos encontra-se representado na Figura 2.3.1:

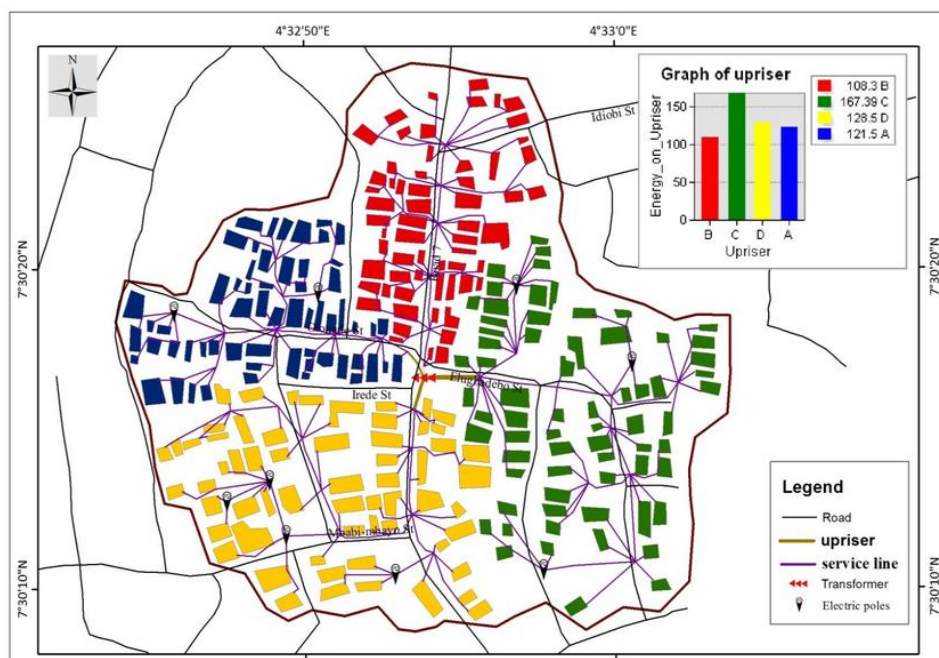


Figura 2.3.1 - Exemplo de Output típico a partir da utilização de *ArcGIS Eletric Distribution*, segundo a *ESRI*

A nível de projetos de SIG nacionais aplicados às energias renováveis, é relevante abordar-se o *Clim2Power*. O *Clim2Power* consiste num projeto de investigação que cria uma ponte entre a modelação dos dados meteorológicos e a divulgação dessa informação para utilizadores finais. Como tal este projeto pretende construir uma base de dados web que demonstre o impacto que o clima tem, na operação da exploração de energia a partir de recursos renováveis (nomeadamente para a energia hídrica, eólica e energia solar) bem como dar a compreender o comportamento do clima em períodos de tempo sazonais, bem como em longos períodos de tempo.

A implementação de SIG, não tem sido desenvolvido única e exclusivamente para escalas macroscópicas, pelo que tem sido também desenvolvido para a análise de aproveitamento de energia solar a nível doméstico. Assim sendo, tem sido desenvolvido projetos a escalas mais pequenas, onde se analisa a morfologia das áreas urbanas de forma a ser possível medir-se o potencial solar, tendo em conta as características da área urbana em que os vários projetos solares se inserem (Pili, Desogus, & Melis, 2018).

Em Cáceres desenvolveu-se um SIG com o âmbito de descrever o potencial solar da cidade espanhola. Para tal, este trabalho foi feito a uma escala de 1:500 onde as morfologias das coberturas foram fornecidas pela administração local cujo propósito, incidia sobre a estimação de efeitos de sombreamento (Polo, Pozo, & Quirós, 2018),

Para tal este artigo recorreu a três tipos de variáveis tais como:

- A orientação das coberturas, onde se mediu a direção da mesma e se avaliou a inclinação das mesmas em graus (Polo et al., 2018);
- A inclinação das extremidades das coberturas medidas também em graus no plano horizontal (Polo et al., 2018);
- Os valores de radiação medidos num sistema SIG (*LiDar*), sendo que as unidades de referência foram em kWh/m² sendo que esta foi medida para o plano horizontal (Polo et al., 2018).

Na Figura 2.3.2, é possível observar-se as medições do efeito de sombreamento das urbanizações feitas em uma das zonas deste estudo:

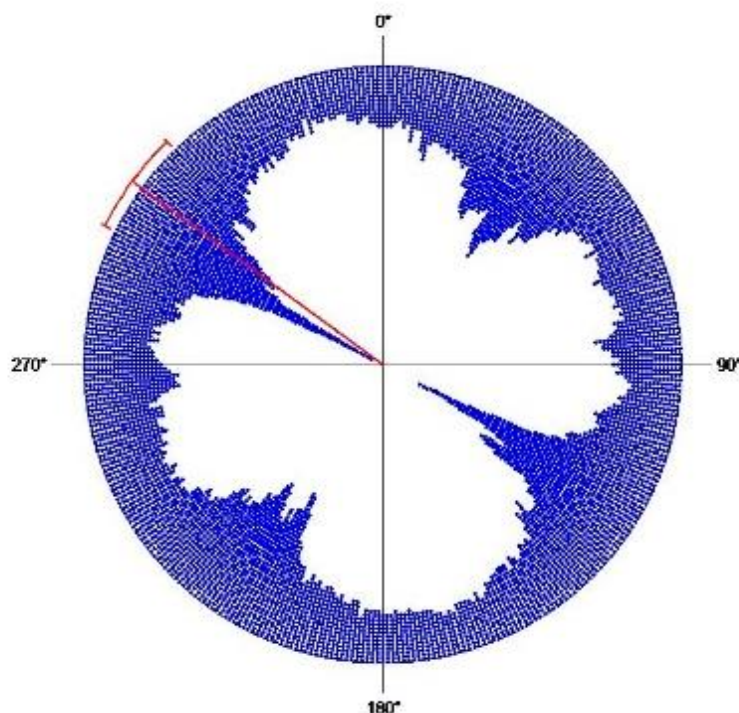


Figura 2.3.2 - Orientação do efeito de sombreamento médio de acordo com (Polo et al., 2018)

A nível de projetos de SIG europeus, será também importante mencionar o *PVGIS*. O *PVGIS* - *Photovoltaic Geographical Information System*, é um projeto desenvolvido pela *European Commission Joint Research Centre (JRC)* que consiste numa plataforma online de acesso gratuito e aberto que fornece à Web dados de radiação solar e temperatura, bem como fornece ferramentas de avaliação de desempenho de painéis solares FV para qualquer local na Europa e África, bem como em grande parte da Ásia. Como tal, a nível europeu este é o software usado como referência para implementações de painéis solares.

Como tal, é possível enumerar as seguintes funcionalidades:

- Medição do potencial FV para diferentes tecnologias e configurações conectadas à rede e sistemas autónomos;
- Medição da radiação solar e temperatura fornecendo perfis com médias diárias e mensais, bem como a sua variação ao longo do tempo;
- Mapeamento (por país ou região) dos dados acima mencionados;
- Fornecimento dos modelos usados no PVGIS para estimar os dados já referidos.

De acordo com (Yunna & Geng, 2014), existem os seguintes sistemas de apoio à decisão para a energia solar:

Tabela 2.3.1 - Tipos de análise multicritério segundo (Yunna & Geng, 2014)

<i>Tipos de Análise Multicritério</i>	<i>Vantagens e Desvantagens</i>	<i>Características dos tipos de análise multicritério</i>
Análise Hierárquica	Vantagens	A consistência deste tipo de procedimento consegue ser medido; Forte aplicabilidade para critérios quantitativos e qualitativos; É um bom método para a análise de problemas complexos tanto na teoria como na prática.
	Desvantagens	A consistência hierárquica é mais de difícil atingir quando se aplicam demasiados critérios.
TOPSIS	Vantagens	É um bom método para se medir distâncias e alternativas em relação à solução ideal; Método de fácil compreensão.
	Desvantagens	É necessária uma normalização multidimensional; Não consegue medir a consistência dos resultados.
ANP	Vantagens	É um bom método para gerir hierarquicamente os critérios em estudo; Proporciona uma alta fidelidade dos resultados obtidos.
	Desvantagens	Necessita de softwares bastante específicos para o efeito.
ELECTRE	Vantagens	Recorre a inputs e a um sistema de hierarquização para auxiliar o método de decisão; É aplicável para critérios qualitativos e quantitativos,
	Desvantagens	Difícil conceptualização do problema na hierarquização dos parâmetros; É um modelo de compreensão mais complicada, em relação ao processo de análise hierárquica.
Programação multiobjectivo	Vantagens	É um modelo que envolve funções lineares ou não lineares; Pode conter modelos de decisão contínuos ou integrados para situações onde existem várias escolhas alternativas;
	Desvantagens	É um modelo de difícil resolução devido ao complexo procedimento informático associado. Só é aplicável para critérios quantitativos.

Na Figura 2.3.3 é possível observar-se o resultado da medição da variação global anual de irradiação na Europa.

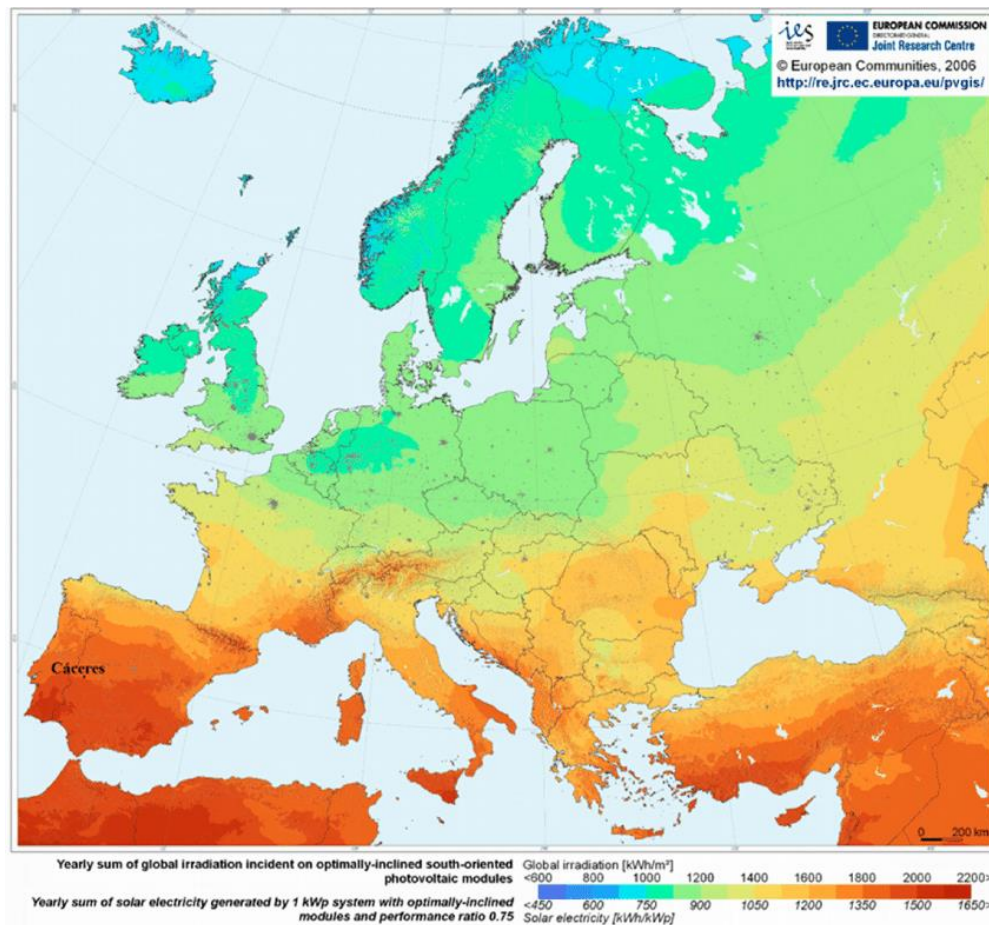


Figura 2.3.3 – Irradiação global anual de irradiação na Europa, de acordo com o PGVIS, 2006

Para esta dissertação, foi tido por base os valores estimados por esta plataforma uma vez que esta é de acesso aberto, bem como é um software que teve por base variados artigos científicos que visaram uma melhor estimativa possível. Como tal de seguida, será explicado os modelos de cálculo usados pelo *PVGIS*.

2.4 Modelos utilizados para o cálculo da potência solar convertida por painéis solares fotovoltaicos

Para o cálculo da irradiação global G_T () é feito a partir do somatório de irradiações, onde se inclui a irradiação horizontal (G_{bT}), irradiação difusa (G_{dT}) e a irradiação refletida (G_{rT}) (Gracia & Huld, 2013),

$$G_T = G_{bT} + G_{dT} + G_{rT} \quad (2)$$

Considerando que a irradiação horizontal pode ser descrita como a irradiação obtida diretamente do disco solar e tendo o valor da irradiação no plano horizontal, a irradiação num plano inclinado é calculada a partir de relações geométricas que dependem da inclinação da superfície, bem como da orientação angular do sol e as coordenadas do sol, onde ξ representa o ângulo de incidência solar no plano inclinado e σ_z é o ângulo zenith (Gracia & Huld, 2013),

$$G_{bT} = G_b \times \frac{\cos \xi}{\cos \sigma_z} \quad (3)$$

Quanto à irradiação refletida, esta é assumida como sendo idealmente isotrópica, ou seja, a irradiação difusa e a radial são refletidas identicamente sendo que a horizontal por sua vez, é uniforme e livre de obstáculos. De forma a calcular a irradiação refletida, é tido como referência que o valor do albedo é de 0,2 e β é o ângulo entre o plano horizontal e o plano inclinado (Gracia & Huld, 2013). Como tal, é possível definir-se algebricamente a irradiação refletida da seguinte forma:

$$G_{rT} = G_T \times \rho \times \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (4)$$

Quanto à irradiação difusa, o modelo implementado para o PVGIS desenvolvido por (Munner 1990), é feito segundo modelos anisotrópicos (Gracia & Huld, 2013).

Como tal, as equações modelo que estimam a irradiação difusa distinguem-se entre as condições de céu nublado e modelos com superfícies sombreadas. O modelo para as condições de céu nublado é feito da seguinte forma:

$$G_{dT} = G_d \times \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} + 0.25227 \times \left(\sin \beta - \beta \times \cos \beta - \pi \times \left(\sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \right] \quad (5)$$

Para superfícies sombreadas o modelo é calculado da seguinte forma:

$$G_{dT} = G_d \times \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} + 0.25227 \times \left(\sin \beta - \beta \times \cos \beta - \pi \times \left(\sin \frac{\beta}{2} \right)^2 \right) \right] \times \left(0.0026 - 0.712 \times \frac{G_b}{G_0} - 0.6883 \times \left(\frac{G_b}{G_0} \right)^2 \right) \times \left(1 - \frac{G_b}{G_0} \right) + \left(\frac{G_b}{G_0} \times \frac{\cos \xi}{\cos \sigma_z} \right) \quad (6)$$

Geralmente, um módulo FV inclui um número de células FV que podem estar ligadas em série ou em paralelo. Como tal, a corrente elétrica inicial captada por um módulo fotovoltaico pode ser calculada da seguinte forma (Liu, Duan, Liu, Liu, & Kang, 2008):

$$I_o = \eta_p \times I_{ph} - \eta_p \times I_{rs} \left[e^{\left(K_0 \frac{U}{\eta_s} \right)} - 1 \right] \quad (7)$$

Sendo que:

- I_o – Corrente Inicial (A)
- η_p, η_s – Número de painéis em paralelo e em série
- I_{ph} - Corrente da célula FV
- I_{rs} - Ponto de saturação invertido da corrente da célula FV (dependente da Temperatura)
- K_0 - Constante
- U – Tensão (V)

Partindo deste pressuposto o PVGIS calcula os efeitos da irradiância e da temperatura na potência absorvida pelo módulo seguindo o seguinte modelo (Huld et al., 2011):

$$P = \frac{G}{1000} \times A \times \eta(G, T_m) = \frac{G}{1000} \times A \times \eta_{nom} \times \eta_{rel}(G, T_m) \quad (8)$$

Sendo que:

$$\eta_{rel}(G', T'_m) = 1 + k_1 \ln(G') + k_2 \ln(G')^2 + k_3 \times T'_m \times \ln(G')^2 + k_4 \times T'_m \times \ln(G')^2 + k_5 \times T'_m \times \ln(G')^2 + k_6 \times T'_m \times \ln(G')^2 \quad (9)$$

$$G' = \frac{G}{1000} \text{ (kW)} \quad (10)$$

$$T_m = T_a + \frac{G}{U_o + U_1 W} \quad (11)$$

$$T'_m = T_m - 25 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (12)$$

- A – Área do módulo
- η_{nom} - Rendimento nominal do módulo
- T_m – Temperatura do módulo
- k_n – Coeficientes dependentes das características do módulo
- T_a – Temperatura do Ar ($^\circ\text{C}$)
- U_o – Tensão de Entrada (V)
- U_1 – Tensão de Saída (V)
- W – Velocidade do vento (km/h)

Quanto à rentabilidade económica dos painéis solares, define-se que o melhor método para se quantificar economicamente um projeto solar fotovoltaico, o mesmo consistirá no calculo e comparação de diferentes LCOE's (*Levelized Cost of Energy*) onde se tem em conta o custo da compra e instalação do sistema FV, bem como o custo de manutenção e custo de financiamento, tendo tudo em conta o tempo de vida do sistema FV (Gracia & Huld, 2013).

2.4.1 Avaliação económica de projetos

De acordo com as referências (Diário da República, 2014) e (Akalu, 2001) em Portugal, a avaliação económica de projetos de centrais FV, é feita a partir dos seguintes indicadores económicos:

VAL – Valor Atual Líquido:

Este Indicador corresponde ao cálculo do valor atual da soma de todos os *cashflows* durante o período de investimento, ou seja, compara os valores de *cashflows* que só se obtêm no futuro com o investimento feito no momento em que foi investido.

$$VAL = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - D_t}{(1+r)^t} - I_o \quad (13)$$

Sendo que:

- t – número de anos (0,1,2,...,N)
- N - Período de investimento.
- I_o - Investimento Inicial ($t=0$)
- R_t – Receita Total
- D_t – Despesa Total
- r – taxa de atualização, Taxa de atualização, custo do capital, rentabilidade de um investimento financeiro com risco idêntico. De um modo geral, r pode ser constituído por:
$$r = (1 + T_1) \times (1 + T_2) \times (1 + T_3) - 1 \quad (14)$$
- T_1 - Taxa de rendimento real mínima (ex. Obrigações do Tesouro);
- T_2 - Taxa associada ao risco envolvido no projeto;
- T_3 – Taxa de inflação

Para critério de análise, é possível concluir-se que caso $VAL > 0$, pode-se inferir que o investimento é aceitável, enquanto que se $VAL < 0$, conclui-se que é inviável, sendo o $VAL = 0$ a situação limite (Akalu, 2001).

TIR – Taxa Interna de Rentabilidade

Este indicador corresponde à taxa de atualização (r) necessária para que o VAL seja nulo, ou seja o projeto só pode ser considerado viável caso o TIR seja superior a r usado para definir o VAL (Akalu, 2001).

$$0 = \sum_{t=1}^N \frac{R_t - D_t}{(1+TIR)^t} - I_o \quad (15)$$

PRI – Período de Recuperação do Investimento (payback):

Este Indicador tem como intuito avaliar o período de tempo que o projeto leva a recuperar o capital investido por completo, sendo que pode ser indicado sem atualização de cash flows (menos rigoroso) ou com atualização, em que se designa por *PRI* atualizado, PRI_A .

$$\sum_{t=0}^{PRI} R_t = \sum_{t=0}^{PRI} D_t + I_0 \quad (16)$$

$$\sum_{t=0}^{PRI_A} \frac{R_t}{(1+r)^t} \geq \sum_{t=0}^{PRI_A} \frac{D_t}{(1+r)^t} + I_0 \quad (17)$$

LCOE – Levelized Cost Of Energy

Este indicador tem como intuito, definir o custo de produzir energia (€/MWh) com determinada tecnologia, considerando o tempo de vida (ou o período do investimento) do sistema (Akalu, 2001).

$$LCOE = \frac{I_0 + \frac{\sum_{t=0}^N D_t}{(1+r)^t}}{\frac{\sum_{t=0}^N E_t}{(1+r)^t}} \quad (18)$$

Onde E_t corresponde à Energia produzida num ano t .

2.4.2 Levantamento das principais centrais solares fotovoltaicas

Atualmente é possível constatar que enquanto na Europa a procura por energia elétrica encontra-se a estagnar, o mesmo não se verifica a nível global, pelo que existe uma forte necessidade de existir um contínuo crescimento a nível da produção FV a nível global (Masson, Orlandi, & Reking, 2007).

Assim sendo, é possível esperar-se que num futuro próximo, que o maior crescimento a nível de produção FV continue a ocorrer em países como a China, países do Sudoeste Asiático em geral, vindo a seguir os países da América Latina, os países do Médio Oriente e na Índia (Masson et al., 2007).

Como tal, de acordo com a expectativa abordada, a nível global houve uma forte evolução na produção de energia elétrica FV, pelo que de acordo com (Lenardic, 2019), é possível fazer-se o seguinte levantamento global, das 10 maiores CSFV com uma maior potência instalada:

Tabela 2.4.1 - Levantamento global das 10 maiores centrais FV a nível global e de CSFV portuguesas de acordo com (Lenardic, 2019)

Potência Instalada DC (MW)	Localização	Nome da CSFV	Em rede
1365	Bhadla (India)	Bhadla Solar	2018
1000	Yanchi (China)	Yanchi Solar PV Station	2016
1000	Gadivemula (India)	Kurnool Solar Park	2017
850	Longyangxia Dam (China)	Longyangxia	2013-2017
754	San Juan de Villanueva, (México)	Villanueva Solar 1, Villanueva Solar 3	2018
648	Kamuthi (India)	Kamuthi Solar	2017
600	Pavagada Taluk (India)	Pavagada Solar Park	2017
600	Charanka (India)	Charanka Park	2012-2015
575	Rosamond (EUA)	Solar Star Projects	2015
550	Chuckwalla Valley (EUA)	Desert Sunlight Solar Farm	2015
56,5	Serpa (Portugal)	CSFV de Hércules	2008
46,41	Amareleja (Portugal)	CSFV da Amareleja	2008
12	Ferreira do Alentejo	CSFV de Ferreira do Alentejo	2009

Quando analisada a produção FV na Europa por habitante, de acordo com a referência (Masson et al., 2007), é possível fazer-se a seguinte estimativa

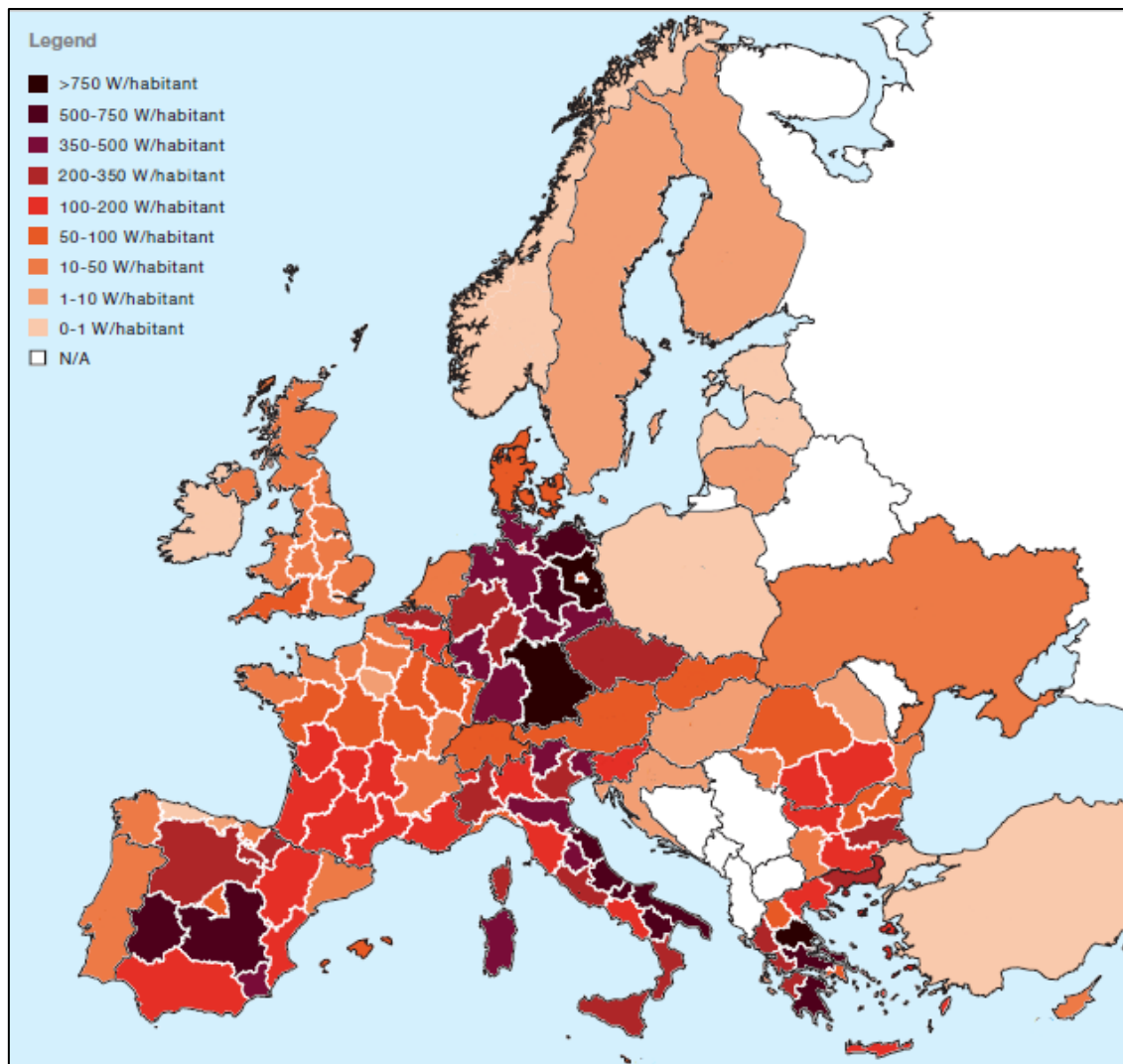


Figura 2.4.1 - Produção FV por habitante segundo a referência (European Photovoltaic Industry Association, 2018)

Partindo da Figura 2.4.1, é possível constatar-se que Portugal deveria investir muito mais nesta FER, visto que sendo um dos países da União Europeia com boas condições para a sua exploração e com uma baixa densidade populacional (face a outros países da UE), não justifica uma produção por habitante tão baixa, pelo que este fator deve servir de incentivo para um contínuo desenvolvimento deste setor.

3 Análise multicritério

3.1 Princípios básicos da análise multicritério

De acordo com (Doorga, Rughooputh, & Boojhawon, 2019), é possível definir 2 grandes grupos de critérios que influenciam a adequabilidade de locais para a exploração de energia solar:

- **Critérios de exclusão** – Para este grupo de critérios, áreas que sejam consideradas de maior importância, protegidas por leis ou que tornem o local completamente inadequável serão retirados do mapa inicial e não poderão ser consideradas para a implementação da CSFV (Doorga et al., 2019).
- **Critérios de ponderação** – Por oposição ao critério anterior, neste grupo de critérios encontram-se os parâmetros que apesar de não serem de exclusão, estes estudam os impactos na sociedade e no meio ecológico, bem como influenciam a eficácia da exploração do recurso solar, tais como a quantidade de irradiação recebida, orografia do terreno, distâncias a acessos e redes de transmissão de energia, entre outros (Doorga et al., 2019).

Partindo desta divisão, de forma a realizar uma avaliação de multicritério, o modelo teórico de SIG aplicado nesta dissertação, será estruturado nas seguintes cinco etapas:

1ª Etapa – Avaliação da distribuição de Irradiação Solar – **Mapa Inicial;**

2ª Etapa – Aplicação dos critérios de exclusão – **Mapa de Áreas Residuais;**

3ª Etapa – Aplicação dos critérios de ponderação – **Mapa de Adequabilidade.**

4ª Etapa – Avaliação económica do projeto – **Mapa de Rentabilidade**

5ª Etapa – Análise de Resultados

Na 1ª etapa será criada uma rede de 144 pontos onde a cada ponto será atribuída um valor de irradiação anual, consoante a informação que se encontra disponível no PVGIS. Destes pontos será feita uma regressão linear onde desta levará à análise da distribuição do recurso em causa.

Na 2ª etapa, será aplicada uma função de exclusão às áreas que se encontrem interditas ou que sejam inviáveis ao mapa de Portugal Continental. Desta subtração resulta um mapa de áreas residuais que servirá de base de estudo para as etapas seguintes.

Na 3ª etapa, tendo agora por base as áreas residuais em estudo, será agora avaliado a adequabilidade destas áreas a partir de parâmetros que influenciem a eficácia da exploração do recurso solar ou que influenciem na intensidade de impactes negativos decorrentes da exploração do recurso solar. Nesta fase antes de se aplicar essa ponderação, será necessário proceder a um

processo de análise hierárquica, de forma a serem hierarquizados os critérios consoante a importância ou peso que os mesmos tenham na influência de decisão para este tipo de projetos, sendo que nesta análise hierárquica a mesma será feita consoante perspectivas que especialistas de diferentes áreas tenham sobre este tema, processo este que será explicado posteriormente.

Na elaboração destas etapas do modelo optou-se pela representação final dos dados em estrutura matricial (formato *raster*), dado que este tipo de modelos tem uma estrutura muito simples, apresentando uma grande rapidez em operações matemáticas de sobreposição simultânea de diferentes variáveis ou coberturas levando assim a uma rapidez na ponderação de atributos e a uma maior facilidade na análise de resultados (Matos, 2001):

Após a avaliação da adequabilidade, de forma a auxiliar o proponente na decisão final, procede-se à 4ª etapa que corresponde à avaliação da rentabilidade de um projeto. Para proceder-se a esta avaliação será tido em conta o mapa inicial de onde será possível extrair-se a irradiação solar e por consequente, a potência elétrica possível de se explorar com a exploração do recurso solar consoante o tipo de tecnologia aplicada.

Dada a volatilidade dos parâmetros económicos, nesta dissertação serão estabelecidos parâmetros económicos fixos, de forma a simplificar a análise económica ao longo da área de estudo, sendo que o estabelecimento destes critérios será melhor explorado no Capítulo 4.5. Após o cálculo dos indicadores económicos para todos os pontos, de forma análoga ao que foi executado na 1ª etapa, será realizado uma regressão linear a todos os valores resultando assim um mapa de rentabilidade. Após a elaboração do mapa de rentabilidade proceder-se-á a uma comparação entre o mapa de adequabilidade e o mapa de rentabilidade permitindo assim a promoção da implementação de CSFV.

Na 5ª etapa reserva-se a fazer comparações com os resultados obtidos na 3ª e 4ª etapa e com estes inferir quais os locais onde será possível maximizar os indicadores económicos e a adequabilidade de um determinado local.

3.2 Enumeração de critérios e parâmetros

Uma boa seleção do local de exploração é uma **componente crucial** para o desenvolvimento de um projeto fotovoltaico. No entanto, **não existe nenhuma regulação específica** para a seleção do local. Para a fase de anteprojecto os SIG's são uma boa ferramenta para a gestão e planeamento de uma CSFV. A escolha de um local pode fazer variar o rendimento de exploração entre **27% a 45%**, sendo que nesta deve-se ter em conta um tempo de vida entre **25 a 30 anos**. (Internacional Finance Corporation, 2015)

3.2.1 Critérios de exclusão

C.E.1 – Uso do solo/ordenamento do território

A seleção de um projeto deste tipo exige um bom ordenamento do território. Como tal, para este tipo de planeamento é preferível que estes não coincidam com outro tipo de projetos com necessidades de maior importância. Para efeitos de exclusão, nesta dissertação ter-se-á em conta a distância em relação às zonas industriais, visto que a poluição atmosférica da atividade industrial pode **reduzir a irradiação recebida**, bem como como se ocorrer a presença de partículas de enxofre ou outras substâncias corrosivas podem levar a uma **corrosão acelerada** de componentes desprotegidos do sistema FV. Como tal, de forma a ser instalados módulos FV neste tipo de ambientes altamente corrosivos, os mesmos devem ter de ser certificados pela norma standard IEC 61701 (Internacional Finance Corporation, 2015).

Nesta dissertação, também será tido em conta distâncias de segurança de aterros de resíduos não controlados, uma vez que estes tipos de zonas possuem **alto risco de instabilidade**, bem como são locais onde ocorrem com mais frequência chuvas ácidas que podem provocar uma **taxa excessiva de corrosão nos módulos** pelo que a presença de aterros de resíduos deve também ser tido em conta. Para efeitos desta dissertação será adotada a distância tampão de 3 km, de forma a serem evitadas este tipo de áreas com algum risco associado (Noorollahi, Fadaei, Shirazi, & Ghodsipour, 2016).

Para o caso da legislação portuguesa, de acordo com o (Diário da República, 2012), foi atualizado o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional (REN). A REN define-se como uma estrutura de enquadramento e proteção dos espaços produtivos, agrícolas e urbanos, de forma a garantir a permanência de determinadas ocorrências físicas e um mínimo de atividade biológica, onde se procura um desenvolvimento sustentável entre as dimensões da Economia, Sociedade e Ambiente. Desde então que se distinguem, no âmbito da REN, três tipologias de áreas:

- Áreas de proteção do litoral,
- Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico
- Áreas de prevenção de riscos naturais.

Como tal, constata-se que os objetivos da REN e a tipologia de áreas que a mesma integra, que se sobreponham a outros regimes jurídicos em vigor no que respeita à salvaguarda de recursos, valores e riscos naturais. Em suma, tendo em vista a maximização de exploração do recurso solar e a maximização dos lucros, devido às medidas exigidas de minimização de impactos, infere-se assim que deverá ser evitado a implantação deste tipo de projetos que sobreponham a áreas delimitadas pela REN (Diário da República, 2012).

Ainda dentro do abrigo da legislação portuguesa, de acordo com o (Diário da República, 2015a), será necessário ter também em conta a Reserva Agrícola Nacional. De acordo com o (Diário da

República, 2015, "...a Reserva Agrícola Nacional (RAN) constitui um instrumento de disponibilização do solo agrícola para os agricultores e contribui para a fixação da população ativa na agricultura, para a valorização da paisagem, para o melhoramento da estrutura fundiária e para o fomento da agricultura familiar". Como tal, dado o que já foi abordado anteriormente relativamente a áreas de elevada utilidade, para efeitos de implantação deste tipo de projetos, será também necessário evitar áreas que sejam delimitadas pela RAN. Ao consultar-se a legislação, contrariamente o que é defendido por autores como (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), (Doorga et al., 2019), (Aly, Jensen, & Pedersen, 2017), entre outros, este parâmetro não é um parâmetro de exclusão, uma vez que segundo o (Diário da República, 2015b) o artigo 23º B cita que "os programas especiais das áreas protegidas podem estabelecer que determinadas atividades, ações ou projetos por eles, em geral, não admitidos, possam ser autorizados pela autoridade nacional, devendo estabelecer expressamente os condicionalismos em que tal se pode verificar, sendo que a sua autorização está sempre condicionada à ausência de impactes negativos significativos em matéria de proteção e salvaguarda de recursos naturais", levando assim a que este **não seja obrigatoriamente um fator de exclusão** dada a legislação abordada.

C.E.2 - Fatores geotécnicos

Para este descritor, uma análise geotécnica do local é recomendada após a seleção final do local, porém é necessário confirmar se nessa localidade não ocorrem os seguintes tipos de ocorrências:

- **Rios, Lagos ou Pântanos** - Devendo a CSFV encontrar-se distanciada **pelo menos a 300 metros** (Caetano, Vendas, Costa, Verdial, & Brito, 2005);
- **Planícies de inundação** - (Distanciadas **no mínimo a 30 metros** destas), para efeitos desta dissertação por falta de dados só serão tido em conta terrenos aluvionares (Caetano et al., 2005);
- **Falhas geológicas importantes** (ativas e/ou potencialmente ativas) - Devendo estas ter uma distância de segurança de **pelo menos 500 metros** (Caetano et al., 2005);
- **Superfícies com declives superiores a 18º** - Uma vez que este tipo de superfície acarreta **maioritariamente riscos de derrocadas** (Palmer, Gottschalg, & Betts, 2019);
- **Zonas costeiras** – Devido ao efeito de salinidade nos módulos, sendo que deve ser assegurada uma **distância de segurança de 200 m** (Giamalaki & Tsoutsos, 2019).

C.E.3 - Efeitos de sombreamento

À semelhança do critério da geotecnia, este fator deve ser avaliado **após a escolha do local**, sendo este consiste num critério de bastante importância, de forma a **evitar o sombreamento nos módulos FV**. Porém, dada a escala de parâmetros a que será feita esta dissertação, este critério não será avaliado. No entanto, o projetista deverá adaptar as características do seu projeto consoante as estruturas que façam sombreamento na área de exploração, bem como o seu efeito entre módulos (Internacional Finance Corporation, 2015).

Inicialmente, é necessário dimensionar o ângulo de altitude solar (β) e para tal é necessário calcular o ângulo de declinação solar (δ), consoante o dia do ano respetivo (n) sendo necessário proceder ao cálculo das seguintes equações:

$$\bullet \quad \delta = 23,45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (n - 81)\right) \quad (19)$$

$$\bullet \quad \beta = 90^\circ - L - \delta \quad (20)$$

Dado que este modelo é aplicado a Portugal Continental (L) este terá de variar entre $42,15^\circ$ N e $36,5^\circ$ N. Com isto, sabendo também que o ângulo de otimização, α , à latitude de Portugal Continental é de 35° , pode-se agora proceder ao cálculo da distância de sombreamento seguindo a Figura 3.2.1.

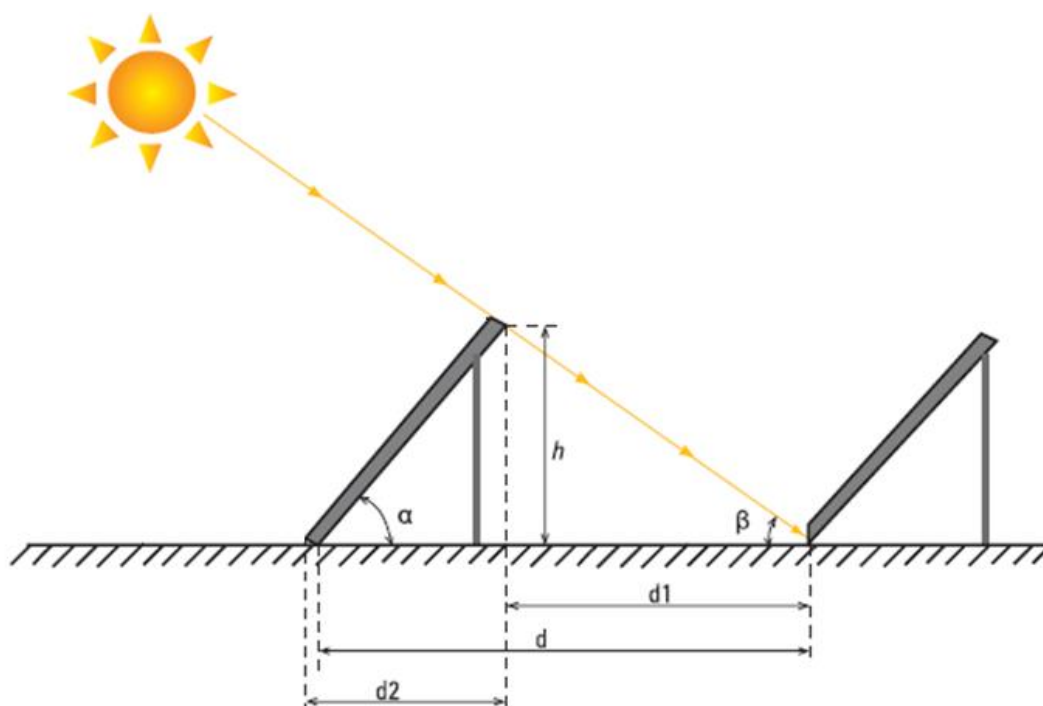


Figura 3.2.1 - Esquema ilustrativo do cálculo da distância de sombreamento de um módulo

Como é possível observar-se na Figura 3.2.1, por relações trigonométricas, partindo das fichas técnicas dos módulos em estudo, o seu comprimento (c) é possível definir a altura de sombreamento (h) e distância de sombreamento (d) a partir das seguintes equações:

- $h(m) = c \times \cos \alpha,$ (21)

- $d_2(m) = c \times \sin \alpha$ (22)

- $d_1(m) = \frac{h}{\tan \beta}$ (23)

- $d(m) = d_2 + d_1$ (24)

Dada a largura dos módulos (l), a área ocupada por um módulo é calculada da seguinte forma:

- $A = d \times l$ (25)

Para outros corpos de sombreamento, o cálculo da área deve ser adaptado à forma geométrica característica desse corpo.

C.E.4 – Irradiação global

O recurso solar é o fator crítico para a implementação de uma CSFV como tal, muitos dos estudos feitos são baseados em estimativas baseadas em imagem satélite. Porém, não existe um valor de irradiância consensual que leve a que seja aceitável, dado que esta varia consoante a realidade de cada país, pois como por exemplo no Reino Unido, uma CSFV deve de receber pelo menos 1050 kWh/m² de irradiação solar direta anual, para que o local seja sustentável à exploração do recurso solar (Palmer et al., 2019). Em contraste, uma avaliação do valor de irradiância consensual em Marrocos, dita-se que o valor de referência corresponde a 1925 kWh/m² (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, Mezrhab, & Mezrhab, 2018). Ao analisar o mapa resultante da 1ª Etapa (Figura 4.2.5) infere-se que este parâmetro, **não é um fator de exclusão para Portugal Continental**, uma vez que o valor mínimo de irradiação anual ronda os **2200 kWh/m²**, pelo que este parâmetro não terá efeito neste estudo (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018).

C.E.5 - Área Disponível

De forma a melhor avaliar-se este critério, nesta dissertação propõe-se que o mesmo seja analisado a partir da densidade de energia que é possível produzir-se num hectare. O estabelecimento de um intervalo de densidades de energia é útil para os SIG's, uma vez que permite fazer uma **fácil conciliação entre a disponibilidade do recurso solar e a área necessária para a exploração de 1MW_{ac}** (Internacional Finance Corporation, 2015).

Como tal, dados os valores apresentados na Tabela 3.2.1, como será abordado mais detalhadamente no Capítulo 4, é possível inferir para o caso do sistema FV possuir uma potência pico de 50 MWp e para o caso da exploração ser feita num tipo de módulo FV de eixo fixo, é possível inferir que será necessária uma área mínima de 117 ha, sendo que este valor será variável consoante a potência instalada (Ong, Campbell, Denholm, Margolis, & Heath, 2013).

Tabela 3.2.1 - Área direta requerida para centrais solares FV com capacidade superior a 20 MW, de acordo com (Ong et al., 2013)

<i>Tipo de “eixo”</i>	<i>Capacidade versus área necessária (ha/MW_{ac})</i>	<i>Geração de energia anual versus área necessária (ha/ GW_{ac}/ano)</i>	<i>Área mínima necessária para uma geração de 50MWp (ha)</i>
Fixo	2.3471	1.1331	117
1 eixo	3.6421	1.4164	182
2 eixos	2.4685	0.8093	123

3.2.2 Distâncias de proteção aplicadas

Após introduzidos os fatores de exclusão, será alocada uma distância tampão (buffer), ou distância de proteção onde dentro da qual não poderá ser instalada a CSFV de forma a prevenir eventuais danos e ou constrangimentos que possam daí surgir. Estes perímetros têm como objetivo:

- **Evitar a afetação do equilíbrio ecológico dos ecossistemas naturais** (Caetano et al., 2005);
- **Prevenir, reduzir e controlar a afetação da funcionalidade do espaço** (Caetano et al., 2005);

Um outro exemplo da necessidade de uma área de proteção, é o caso das zonas envolventes a falhas ativas. Localizar uma instalação como esta nas áreas envolventes a falhas ativas ou potencialmente ativas é extremamente perigoso pois podem surgir danos devido a:

- **Movimentos ao longo das falhas**, que podem causar deslocamentos em estruturas (Caetano et al., 2005);
- **Atividade sísmica associada a movimentos de falhas**, que podem causar estragos em estruturas devido a vibrações (Caetano et al., 2005).

Como tal nos quadros seguintes, apresentam-se os valores de distâncias tampão (buffers) que serão aplicados automaticamente a cada parâmetro. De forma a definir-se distâncias tampão foram consultados vários artigos referentes a vários parâmetros como podem ser observados na Tabela 3.2.2:

Tabela 3.2.2 - Distâncias de proteção aplicáveis para os parâmetros de exclusão

<i>Critérios</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Distância de proteção adotada (m)</i>	<i>Referências Bibliográficas</i>
Uso do Solo	Áreas Industriais	3000	(Noorollahi et al., 2016)
	Aterros não controlados de resíduos	700	(Caetano et al., 2005)
Hidrologia/Geomorfologia/Geologia	Captações de água e aluviões	200	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)
	Rios/ Lagos/Pântanos	200	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)
	Declive (> 18°)	100	(Palmer et al., 2019)
	Falhas Geológicas Importantes (Ativas e Potencialmente Ativas)	500	(Caetano et al., 2005)
	Zonas Costeiras	200	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)

3.2.3 Critérios de adequabilidade

C.A.1 - Critérios Sociais

C.A.1.1 – Áreas Classificadas

Como já foi abordado anteriormente, em Portugal Continental existem 2 grandes tipos de áreas classificadas, as áreas da **Reserva Ecológica Nacional** e as áreas da **Reserva Agrícola Nacional** (RAN). Para esta dissertação, as áreas que sejam classificadas como RAN ou como Reserva Ecológica Nacional, o projeto sofrerá uma desvalorização, uma vez que neste tipo de áreas existe um conflito de interesses entre a exploração agrícola ou de conservação de ecossistemas com a exploração energética (Giamalaki & Tsoutsos, 2019). Dado o observado, na Tabela 3.2.3 encontra-se a classificação atribuída a este parâmetro.

Tabela 3.2.3 - Classificação atribuída a áreas classificadas

Classificação	Condição
Não Adequado	Dentro de áreas classificadas
Muito Elevada	Fora de áreas classificadas

C.A.1.2 - Potenciais consumidores diretos

Na avaliação deste parâmetro, infere-se que caso exista um potencial consumidor nas imediações da exploração a mesma torna-se mais viável, numa perspetiva em que a sua utilização é direta, bem como as perdas serão menores uma vez que o gasto de energia ocorre no momento. Dentro deste grupo o mesmo foi subdividido em 2 categorias:

- **Consumidores do setor industrial;**
- **Consumidores do setor doméstico.**

Apesar de não ser viável a presença de CSFV em ambientes urbanos ou industriais, a mesma só não deve ficar situada a **3 km** da mesma. Porém, a distâncias superiores a esta, esses efeitos negativos são mitigados passando a ser possível a sua utilização direta (Noorollahi et al., 2016)

Para o caso dos consumidores do setor doméstico, dado a escala de trabalho, foi analisada a densidade populacional de um município, partindo da análise dos dados da BGRI (Base Geográfica de Referenciação de Informação) do INE (Instituto Nacional de Estatística). Pelo que deste parâmetro infere-se que para municípios com elevadas densidades populacionais será convidativo a presença deste tipo de centrais desde que estas estejam distanciadas a 3 km da mesma (Noorollahi et al., 2016).

Para o caso do setor industrial, nesta dissertação foi analisado as localizações das principais indústrias, sendo que destas indústrias serão feitos buffers sobre as indústrias de onde uma **distância inferior a 3 km é inviável** dado a emissão de gases poluentes e corrosivos que afetam a CSFV. Para além destas distâncias após a consulta de vários artigos, é possível analisar-se a seguinte classificação dada a este parâmetro na Tabela 3.2.4. Para efeitos desta dissertação, será adotada a classificação de (Noorollahi et al., 2016) uma vez que esta é a classificação mais moderada quando comparada com as restantes.

Tabela 3.2.4 - Classificações dadas à distância de potenciais consumidores segundo vários autores

Classificação	(Noorollahi et al., 2016) (km)	(Aly et al., 2017) (km)	(Uyan, 2013) (km)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (km)
Não adequado	< 3 ou > 45	< 6 ou > 30	< 0,5 ou > 5	< 1 ou > 20
Reduzida	[30;45]	[25;30]	NA	NA
Moderada	[15;30]	[20;25]	[2;5]	[5;20]
Elevada	[10;15]	[20;11]	NA	NA
Muito elevada	[3;10]	[6 ;11]	[0,5;2]	[1;5]

C.A.2 – Critérios Técnicos

C.A.2.1 - Rede de Transporte de Energia

Apesar de não existirem especificações definitivas quanto à distância da rede, a maior parte dos consultores aconselham a que se encontre num **perímetro ideal de 1 km** em relação às linhas de distribuição, sendo que o **máximo admissível deve ser de 10 km**. Este parâmetro tem como fundamento que quanto maior for a distância que um ponto se encontre da rede de transporte, maiores serão as perdas por *Joule* por cabo ou mais serão os custos em cabos para a CSFV, logo infere-se que quanto menor for a distância que um ponto se encontre à rede melhor será a adequabilidade deste parâmetro (Noorollahi et al., 2016).

De forma a ser avaliado este parâmetro será **digitalizado e georreferenciado** o mapa de rede de transporte de energia da REN de 2019 (Figura Anexo 1), sendo que destas linhas serão feitos **buffers** entre as distâncias especificadas e posteriormente avaliadas a partir de uma função de custo. (Noorollahi et al., 2016) Para efeitos desta dissertação será tido em conta o tipo de tensão da rede de transmissão, sendo que na rede da REN existem 3 tipos de linhas:

- Linhas de Baixa Tensão (150 kV);
- Linhas de Média Tensão (220 kV);
- Linhas de Alta Tensão (400 kV).

Para esta dissertação serão tidos em conta as linhas de **baixa e média tensão**, de forma a causar o mínimo impacto possível na aquisição de transformadores para ser introduzida a energia à rede. Quanto à classificação das distâncias, estas serão avaliadas de forma a serem reduzidas, o máximo possível, as perdas de energia por cabo e custos de instalação através da aplicação da função *cost distance* no software *ArcGIS*.

O algoritmo da função *cost distance*, baseia-se no movimento de um ponto sobre a área de estudo, sendo que geralmente esta função é recorrida para determinar a menor distância de um ponto ao seu destino. A fórmula da função *cost distance* é definida em seguida (ESRI, 2017):

$$cd = cv \times cp \times cmt \quad (26)$$

Onde:

- *cd* - Variável *cost distance*;
- *cv* - Custo de viagem;
- *cp* - Característica do ponto móvel;
- *cmt* - Características da morfologia do terreno.

Para esta dissertação tanto o custo de viagem como a característica do ponto móvel foram definidos com o valor 1, sendo que o que variará será as características da morfologia do terreno que ditarão qual a menor distância a que um ponto se encontra do destino.

Após o cálculo de todas as distâncias o algoritmo cria um gráfico sob o formato *raster* onde deste será possível observar uma malha de distâncias que uma determinada célula se encontra do destino pretendido (ESRI, 2017).

Na Tabela 3.2.5, encontram-se apresentadas as classificações dadas a este parâmetro, no entanto para efeitos desta dissertação será adotada a classificação atribuída por (Noorollahi et al., 2016) uma vez que esta é a classificação que melhor concilia as perdas por cabo e custos de operação quando comparado com as restantes.

Tabela 3.2.5 - Classificações dadas à distância às redes de transporte de energia segundo vários autores

CLASSIFICAÇÃO	(Noorollahi et al., 2016) (km)	(Aly et al., 2017) (km)	(Uyan, 2013) (km)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (km)	(Doorga et al., 2019) (km)
Não adequado	> 50	> 30	> 10	> 10	> 9,982
Reduzida	[20;50]	[25;30]	NA	NA	[5,989; 9,982]
Moderada	[15;20]	[20;25]	[6;10]	[5;10]	[3,993; 5,989]
Elevada	[5;15]	[20;11]	[3;6]	[1;5]	[1,996;3,993]
Muito elevada	< 5	[6 ;11]	< 3	< 1	< 1,996

C.A.2.2 – Rede Viária

De forma a reduzir custos relativos à construção de uma CSFV, o fator custo deve ser avaliado consoante a proximidade das estradas. Numa perspetiva económica, a construção de uma CSFV nas imediações da rede de estradas é bastante eficaz, sendo que o diferencial de custos pode ser aplicado noutras componentes deste tipo de sistemas. Uma outra vantagem na proximidade da CSFV deste parâmetro consiste na mitigação dos efeitos negativos no ambiente, decorrentes da construção deste tipo de projetos (Doorga et al., 2019).

Analogamente ao que se procedeu metodologicamente no parâmetro anterior, de forma a ser calculada a menor distância a que um ponto se encontra à rede viária será necessário recorrer à função *cost distance* do software *ArcGIS*.

Como tal, dado o que foi abordado anteriormente, na Tabela 3.2.6, é possível analisar-se as classificações atribuídas a este parâmetro, sendo que para efeitos desta dissertação. Será adotada a classificação atribuída por (Doorga et al., 2019), visto que esta é a classificação que tem

mais em conta os custos de construção e a mitigação de impactes negativos resultantes deste parâmetro.

Tabela 3.2.6 - Classificações atribuídas à distância de estradas e acessos segundo vários autores

CLASSIFICAÇÃO	(Noorollahi et al., 2016) (km)	(Aly et al., 2017) (km)	(Uyan, 2013) (km)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (km)	(Doorga et al., 2019) (km)
Não adequado	> 50	> 30	> 10	> 10	> 10
Reduzida	[20;50]	[25;30]	-----	-----	[6;10]
Moderada	[15;20]	[20;25]	[6;10]	[5;10]	[4;6]
Elevada	[5;15]	[20;11]	[3;6]	[1;5]	[2;4]
Muito elevada	< 5	[6 ;11]	< 3	< 1	< 2

C.A.3. – Critérios Naturais

C.A.3.1 – Temperatura média diária anual

Apesar do efeito deste critério possuir diferentes intensidades consoante o tipo de tecnologia utilizada, o mesmo leva a **diminuições** no rendimento do sistema. (Internacional Finance Corporation, 2015) Em suma, infere-se que caso a temperatura média diária anual leve a que o seu aquecimento na célula seja superior às temperaturas apresentadas na Tabela 3.2.7, **não será aconselhável a sua instalação**. Para este parâmetro, nesta dissertação será tido em conta valores médios anuais de temperatura diária disponibilizados no PVGIS, sendo que o seu tratamento de dados será abordado no Capítulo 4. Dentro da classificação deste parâmetro, na Tabela 3.2.7 encontra-se as classificações atribuídas a este critério por (Noorollahi et al., 2016) e (Doorga et al., 2019), sendo que a classificação adotada foi a de (Doorga et al., 2019), dado a sua **maior proximidade da realidade meteorológica de Portugal Continental**.

Tabela 3.2.7 - Classificação do efeito da temperatura nos módulos para módulos de Silício cristalino de acordo com (Noorollahi et al., 2016) e (Doorga et al., 2019)

Classificação	(Noorollahi et al., 2016) (°C)	(Doorga et al., 2019) (°C)
Não adequado	> 28	> 24,7
Reduzida	[27;28]	[23,6;24,7]
Moderada	[26;27]	[22;23,6]
Elevada	[25;26]	[20,9;22]
Muito elevada	[24;25]	[20,9;19,8]

C.A.3.2 – Altimetria e Topografia

Dado que esta dissertação se foca em Portugal Continental e dado que esta área de estudo se situa no Hemisfério Norte, existe uma preferência pela disposição dos módulos nomeadamente **para Sul**. Será também importante referir, que terrenos **bastante inclinados** podem causar **problemas técnicos**, levando assim ao **aumento dos custos de instalação**, podendo também provocar **agravamentos no efeito de sombreamentos** e assim reduzir o potencial solar da área. Logo pode-se inferir, que quanto **mais plana** for a área de instalação, **menores** serão os custos associados bem como é facilitada a implementação técnica do parque. Relativos a este parâmetro existem vários autores com opiniões diferenciadas relacionados com o máximo de declive admissível para a instalação deste recurso (Programa Altener, 2004).

Como tal, na Tabela 3.2.8, é possível constatar-se os seguintes valores e considerações para com este parâmetro:

Tabela 3.2.8 - Classificação do efeito dos declives de acordo com vários autores

Classificação	(Noorollahi et al., 2016) (%)	(Doorga et al., 2019) (%)	(Uyan, 2013) (%)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (%)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019) (%)
Não adequado	> 11	> 10	> 3	> 5	> 28
Reduzida	[4;11]	[10;8,8]	3	NA	[21;28]
Moderada	[4;2]	[8,8;4,4]	[3;2]	[2,5;5]	[14;21]
Elevada	[1;2]	[4,4;1,1]	[2;1]	[1;2,5]	[7;14]
Muito elevada	< 1	< 1,1	< 1	< 1	< 7

Para este parâmetro o declive será calculado através de vários pontos de altitude do MDT com uma resolução de 1:25 000, fornecido pela ESRI de Portugal Continental, onde a partir destes será possível realizar-se uma **regressão linear** calculando-se assim vários declives. Para efeitos de classificação desta dissertação, será tido em conta a classificação atribuída por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019) dado que esta é a que **mais se assemelha** à realidade de Portugal Continental.

Ainda dentro desta temática, partindo do MDT, a orientação dos declives é também um parâmetro importante, sendo que é preferível que estes estejam orientados **naturalmente para Sul** (para o caso de países localizados no Hemisfério Norte, caso contrário a inclinação preferencial será para Norte). Esta orientação do relevo permitirá **menores custos de montagem** na estrutura de montagem dos módulos, bem como pode permitir uma inclinação que permite uma constante receção de irradiação sem grades efeitos de sombreamento resultantes da inclinação da orientação do terreno inclinado (Giamalaki & Tsoutsos, 2019).

Para efeitos desta dissertação, como pode ser analisado na Tabela 3.2.9, será adotada a classificação atribuída por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019) e (Doorga et al., 2019).

Tabela 3.2.9 - Classificação do efeito da orientação nos módulos segundo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019) e (Doorga et al., 2019)

Classificação	Inclinação preferencial
Não adequado	Norte
Reduzida	Nordeste ou Noroeste
Moderada	Este ou Oeste
Elevada	Sudeste ou Sudoeste
Muito elevada	Sul

Ainda a partir do MDT, o efeito da altitude na absorção e reflexão dos módulos é inversamente proporcional ao aumento da cota acima do nível do mar, influenciando assim o potencial de exploração do recurso solar (Doorga et al., 2019). Este critério afeta, não só em termos técnicos, como afeta também em termos ecológicos uma vez que é bastante comum, a existência de espécies raras de flora e fauna, pelo que a elevação de pontos de altitude deve ser considerada como um aspeto negativo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019). Como tal, dadas as observações dadas por estes autores na Tabela 3.2.10, é possível fazer-se a seguinte classificação do efeito da altitude, sendo que dado a topografia característica de Portugal Continental, será adotada a classificação atribuída por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019).

Tabela 3.2.10 - Classificação do efeito de pontos de altitude nos módulos segundo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019) e (Doorga et al., 2019)

Classificação	<i>(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)</i> (m)	<i>(Doorga et al., 2019) (m)</i>
Não adequado	> 1500	> 816
Reduzida	[1100;1500]	[416;816]
Moderada	[700;1100]	[256;416]
Elevada	[300;700]	[108; 256]
Muito elevada	< 300	< 108

2.3.3 - Disponibilidade de água

Quanto a este parâmetro, **não existe uma opinião consensual** quanto ao efeito que este parâmetro possui numa CSFV. Numa perspetiva técnica, de acordo com artigos como (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) e (Aly et al., 2017), todas as CSFV durante a fase de operação necessitam de água não só para a limpeza e manutenção dos módulos FV, como também podem necessitar de água para a limpeza dos módulos FV. No entanto numa perspetiva ambiental do tema, de acordo com (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), apesar destes impactos positivos nas centrais, neste artigo é considerado que este não é um impacto positivo visto que a água utilizada necessita de ser do tipo de água doce, pelo que de acordo com estes mesmos autores, esta utilização de recursos hídricos deve ser redirecionada para outras aplicações mais importantes na perspetiva social e ecológica, bem como pode existir um maior risco de contaminação da água caso ocorra algum sinistro à CSFV.

Dado o observado, na Tabela 3.2.11 é possível observar que nesta dissertação, para este parâmetro, o mesmo será analisado de forma diferente consoante a perspetiva que se queira ter do projeto, ou seja:

- **Perspetiva técnica** – será baseado na classificação de (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018), dado que não é tão restritiva, quando comparada com a de (Aly et al., 2017).
- **Perspetiva Ambiental** – será baseado na classificação de (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), dado que foi o único artigo a especificar este tipo de cenário.

Tabela 3.2.11 - Classificação do efeito da disponibilidade de água consoante a perspetiva tecno-económica ou perspetiva ambiental

Classificação	Perspetiva técnica		Perspetiva ambiental
	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (km)	(Aly et al., 2017) (km)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019) (m)
Não adequado	> 15	> 9	< 100
Reduzida	NA	[7;9]	[100;200]
Moderada	[10;15]	[5;7]	[200;300]
Elevada	[5;10]	[3; 5]	[300;400]
Muito elevada	< 5	< 3	> 400

2.3.4 –Irradiação Solar

Como já foi abordado anteriormente, a quantidade de irradiação recebida num determinado local é um dos parâmetros mais importantes a ser analisados antes da escolha do local para a CSFV. No entanto, quando abordada a classificação deste parâmetro, a mesma encontra-se influenciada pela meteorologia característica de um determinado país pelo que a sua classificação varia muito, tal como pode ser observado na Tabela 3.2.12. Após a comparação do mapa de distribuição de irradiação com a Tabela 3.2.12, infere-se que a classificação que mais se adapta à realidade de Portugal Continental é a do artigo (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018), pelo que será esta a classificação escolhida para esta dissertação.

Tabela 3.2.12 - Classificação do efeito da irradiação segundo vários autores

Classificação	(Noorollahi et al., 2016) (kWh/m ² /ano)	(Aly et al., 2017) (kWh/m ² /ano)	(Doorga et al., 2019) (MJ/m ² .dia)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018) (kWh/m ² /ano)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019) (kWh/m ² /ano)
Não adequado	> 1300	> 1700	> 14,28	> 1951	> 1000
Reduzida	[1300;1700]	[1700;1900]	[14.28;15.47]	[1951;2100]	[1000;1200]
Moderada	[1700;1900]	[1900;2100]	[15.47;16.66]	[2100;2300]	[1200;1400]
Elevada	[1900;2100]	[2100;2300]	[16.66;17.84]	[2300;2500]	[1400;1800]
Muito elevada	> 2100	> 2300	> 17,84	> 2500	> 1800

2.3.5 – Exposição Solar

Este parâmetro é bastante variável ao longo de uma área, uma vez que este é afetado pela existência de diferentes regimes microclimáticos. Dada essa heterogeneidade, a existência de nuvens leva à **variação de horas de exposição solar em diferentes locais**. (Doorga et al., 2019). Quanto à avaliação deste parâmetro, será adaptado o mapa de exposição solar do (IPMA, 2012), apesar de este ser um mapa com uma má resolução, o mesmo será utilizado dado a falta de dados desta natureza mais. De forma a classificar-se este parâmetro, ao observar-se a Tabela 3.2.13, a classificação escolhida foi as sugeridas por (Doorga et al., 2019) e por (Noorollahi et al., 2016) no entanto para efeitos desta dissertação será tido em conta a classificação atribuída por (Doorga et al., 2019) dado que é uma classificação que se encontra **mais adaptada** aos dados obtidos pelo IPMA.

Tabela 3.2.13 - Classificação do efeito da exposição solar segundo (Noorollahi et al., 2016) e (Doorga et al., 2019)

Classificação	(Noorollahi et al., 2016)	(Doorga et al., 2019)
	(dias nublados por ano)	(horas de sol por mês)
Não adequado	> 170	< 179
Reduzida	[120;170]	[179;195]
Moderada	[70;120]	[195;205]
Elevada	[50;70]	[205; 225]
Muito elevada	< 50	> 225

2.3.6 – Humidade Relativa

Este é um parâmetro importante, uma vez que a humidade, quando em demasia, é inversamente proporcional a uma maior eficiência dos módulos (Noorollahi et al., 2016). Este fenómeno ocorre, uma vez que o vapor de água e o dióxido carbono são os agentes **mais importantes** na absorção de irradiação solar na atmosfera e como tal regiões onde se registe elevadas percentagens de humidade relativa, estas resultarão em **menores quantidades de irradiação disponíveis** para a sua exploração numa CSFV, pelo que torna este parâmetro bastante relevante e a ser necessário ter-se em conta (Doorga et al., 2019).

De forma a avaliar este parâmetro, foi necessário aceder à base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH, 2019) onde à semelhança de outros dados, foi feita uma recolha de **65 estações meteorológicas** onde destas foi retirado a humidade relativa média e posteriormente foi feita uma krigagem a estes pontos, resultando assim num mapa de

humidade relativa média. Após análise do mapa obtido e as classificações na Tabela 3.2.14, nesta dissertação foi tido em conta a classificação adotada por (Noorollahi et al., 2016) uma vez que esta é a classificação que mais se assemelha à realidade de Portugal Continental.

Tabela 3.2.14 - Classificação da humidade de acordo com (Noorollahi et al., 2016) e (Doorga et al., 2019)

Classificação	(Noorollahi et al., 2016)	(Doorga et al., 2019)
	(%)	(%)
Não adequado	> 83	> 95
Reduzida	[60;83]	[86.73;95]
Moderada	[42;60]	[83.32;86,73]
Elevada	[35; 42]	[78.7; 83.32]
Muito elevada	< 35	< 78.7

Em suma, das Tabela 3.2.15 à Tabela 3.2.19 são apresentados os fatores que justificam a aptidão de cada um dos cinco grupos de áreas de adequabilidade.

Tabela 3.2.15 - Tabela de critérios que justificam a classificação atribuída como muito elevada nas cartas de adequabilidade

Adequabilidade	Justificação da classificação
Muito elevada (4)	<p>Disponibilidade substancial de energia solar incidente na área;</p> <p>Proximidade à rede de transporte de energia, de modo a minimizar os custos de conexão da energia produzida na rede de distribuição;</p> <p>Proximidade à rede viária, também para minimizar os custos de instalação e manutenção;</p> <p>Proximidade aos pontos de consumo (núcleos urbanos);</p> <p>Proximidade a pontos de abastecimento de água (para o caso do cenário técnico);</p> <p>Áreas preferencialmente planas;</p> <p>Orientação do relevo preferencialmente para Sul;</p> <p>Situados em área de solos com pouca utilidade ou que não sejam áreas classificadas, de modo a minimizar custos com o terreno e ou medidas de impacto ambiental;</p> <p>Maior disponibilidade de área em hectares, e por conseguinte maior capacidade de instalação de módulos fotovoltaicos;</p> <p>Baixo impacto ambiental.</p>

Tabela 3.2.16 - Tabela de critérios que justificam a classificação atribuída como elevada nas cartas de adequabilidade

<i>Adequabilidade</i>	<i>Justificação da classificação</i>
<i>Elevada</i> (3)	<p>Boa disponibilidade de energia solar incidente na área;</p> <p>Declives pouco acentuados;</p> <p>Relativa proximidade à rede de transporte de energia;</p> <p>Relativa proximidade à rede viária, também para minimizar os custos de instalação e manutenção;</p> <p>Relativa proximidade aos pontos de consumo (núcleos urbanos);</p> <p>Relativa proximidade a pontos de abastecimento de água (para o caso do cenário técnico);</p> <p>Situados em área de solos com pouca utilidade ou que não sejam áreas classificadas.</p> <p>Orientação do relevo preferencialmente para Sul;</p> <p>Maior disponibilidade de área em hectares, e por conseguinte maior capacidade de instalação de módulos FV.</p>

Tabela 3.2.17 - Tabela de critérios que justificam a classificação atribuída como moderada nas cartas de adequabilidade

<i>Adequabilidade</i>	<i>Justificação da classificação</i>
<i>Moderada</i> (2)	<p>Distância razoável à rede de transporte de energia elétrica;</p> <p>Distância razoável à rede viária;</p> <p>Demasiado próximo ou dentro de uma área classificada (rede ecológica ou rede agrícola);</p> <p>Boa disponibilidade de energia solar incidente na área;</p> <p>Declive com alguma acentuação;</p> <p>Relevo não orientado preferencialmente para Sul;</p> <p>Região com uma média exposição solar;</p> <p>Região com alguma humidade relativa do ar;</p> <p>Médio impacto ambiental;</p> <p>Menor disponibilidade de área em hectares, e por conseguinte menor capacidade de instalação de módulos FV.</p>

Tabela 3.2.18 - Tabela de critérios que justificam a classificação atribuída como adequabilidade reduzida nas cartas de adequabilidade

<i>Adequabilidade</i>	<i>Justificação da classificação</i>
<i>Adequabilidade Reduzida</i> (1)	<p>Fraca disponibilidade de energia solar incidente na área;</p> <p>Distante da rede de transporte de energia e da rede viária;</p> <p>Demasiado próximo dos núcleos urbanos, o que pode causar poluição visual;</p> <p>Distante de pontos de abastecimento de água (perspetiva técnica);</p> <p>Demasiado próximo de rios e ou aquíferos de elevada importância (perspetiva ambiental);</p> <p>Declives mais acentuados;</p> <p>Orientação do terreno orientado preferencialmente para Norte;</p> <p>Temperaturas médias diárias anuais entre os 23,6 °C e os 24,7 °C;</p> <p>Demasiado próximo ou dentro de uma área classificada (rede ecológica ou rede agrícola);</p> <p>Região com uma fraca exposição solar;</p> <p>Região com excessiva humidade relativa do ar.</p> <p>Projetos localizados em áreas com alto impacto ambiental associado;</p> <p>Menor disponibilidade de área em hectares, e por conseguinte menor capacidade de instalação de módulos FV.</p>

Tabela 3.2.19 - Tabela de critérios que justificam a classificação atribuída como não adequada ou de exclusão nas cartas de adequabilidade

<i>Adequabilidade</i>	<i>Justificação da classificação</i>
<i>Não Adequado ou Área de Exclusão (0)</i>	<p>Fraca disponibilidade de energia solar incidente na área;</p> <p>Distante da rede de transporte de energia e da rede viária;</p> <p>Demasiado próximo dos núcleos urbanos, o que pode causar poluição visual;</p> <p>Regiões onde se registre temperaturas médias diárias anuais superiores a 25 °C;</p> <p>Orientação do terreno orientado preferencialmente para Norte;</p> <p>Demasiado próximo ou dentro de uma área classificada (rede ecológica ou rede agrícola);</p> <p>Região com uma fraca exposição solar;</p> <p>Região com excessiva humidade relativa do ar.</p> <p>Projetos localizados em áreas com alto impacto ambiental associado;</p> <p>Demasiado próximo de indústrias (raio de 3 quilómetros);</p> <p>Demasiado próximo de rios, lagos ou pântanos, devendo a (raio de 300 metros)</p> <p>Demasiado próximo de planícies de inundação, (distanciadas no mínimo a 30 metros destas);</p> <p>Demasiado próximo de falhas geológicas importantes (ativas e/ou potencialmente ativas) devendo estas ter uma distância de segurança de pelo menos 500 metros;</p> <p>Superfícies com declives superiores a 18°, uma vez que este tipo de superfície acarreta maioritariamente riscos de derrocadas;</p> <p>Demasiado próximo de zonas costeiras, a uma distância mínima de 200 metros;</p> <p>Menor ou nenhuma disponibilidade de área em hectares, e, por conseguinte, sem capacidade de instalação de módulos FV.</p>

3.3 Metodologia

A metodologia apresentada teve por base um sistema de informação geográfica (SIG), nomeadamente o software *ArcGIS*, que permitiu a integração, análise e transformação de informação cartográfica, de forma a cumprir com os objetivos do presente estudo: maximização dos lucros para uma exploração do recurso solar para centrais solares FV.

Tendo agora por base o que foi aqui exposto, a metodologia utilizada para o processo de seleção de locais propícios para instalação de uma CSFV, foi necessário englobar os seguintes passos metodológicos:

1. **Recolha de dados** – Onde será necessário recorrer a mapas onde estejam presentes os fatores de operacionalidade e de seleção;
2. **Adoção de critérios de exclusão** - Tendo em conta áreas sensíveis em termos operacionais e de uso do solo;
3. **Adoção de critérios de adequabilidade** - Em que todas as áreas potenciais serão analisadas em função de um conjunto de parâmetros de avaliação no sentido de hierarquizar em função da sua maior ou menor aptidão para a instalação deste tipo de instalações.
4. **Avaliação económica** - Será comparado o potencial económico em vários pontos do caso de estudo sendo que este serve como critério de decisão final para áreas que possuam o mesmo potencial de adequabilidade.

A definição de critérios de seleção, exclusão e valorização dos parâmetros de avaliação adotados foi elaborada, tendo por base as referências (Internacional Finance Corporation, 2015) e (Doorga et al., 2019).

Quanto à elaboração da carta de áreas favoráveis iniciais, teve-se por base estudos publicados no portal *PVGIS*, para a seleção e otimização de locais para exploração solar, com base na incidência solar obtida para cada local, sendo que desta plataforma foi possível obter-se vários pontos de irradiação ao longo do país, criando assim uma malha do recurso disponível. A não contemplação, numa fase inicial deste processo, de critérios para além dos de operacionalidade e económicos, é uma incorreção em termos de ordenamento do território, ou seja, se determinados parâmetros não forem contemplados desde o início do processo, os locais selecionados podem vir a apresentar problemas ambientais, sociais, bem como poderá implicar custos adicionais ao projeto devido à ausência de planeamento. Com esta dissertação pretende-se demonstrar que, no futuro, a adoção de metodologias criteriosas e específicas para determinado tipo de infraestruturas, irão contribuir para resolver, ou minimizar, os problemas referidos.

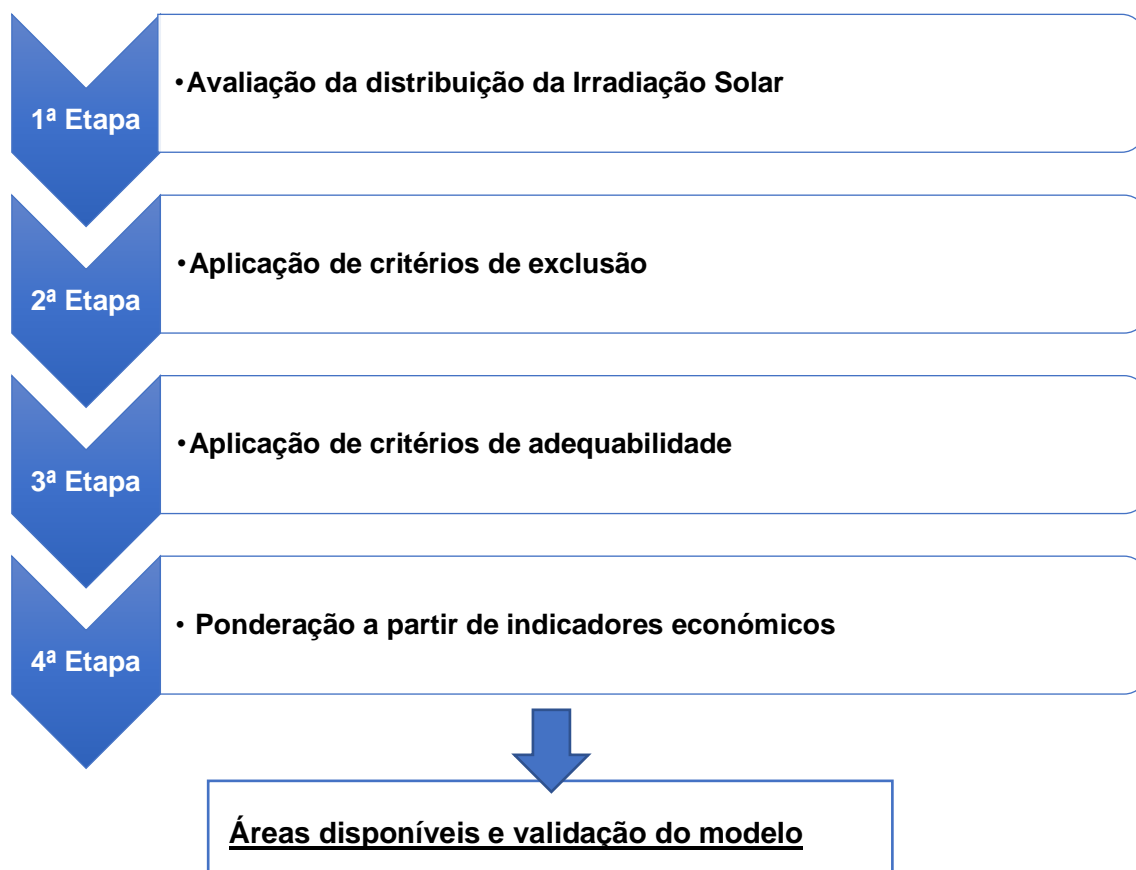


Figura 3.3.1 – Metodologia aplicada simplificada

Em cada etapa serão avaliadas através, de um SIG, as áreas em função das suas características locais. Na Figura 3.3.2. apresenta-se a síntese dos parâmetros considerados.

Critérios de Exclusão	Critérios de Adequabilidade
<ul style="list-style-type: none"> • C.E.1. - Uso do Solo • C.E.1.1. - Áreas industriais • C.E.1.2. - Aterros não controlados de resíduos • C.E.2. - Fatores Hidrológicos Geomorfológicos e Geológicos • C.E.2.1. - Rios/Canais/Lagos • C.E.2.2. - Planícies de inundação • C.E.2.3. - Falhas Ativas • C.E.2.4. - Declives > 20% • C.E.3. - Efeito de sombreamento • C.E.4. - Irradiação Solar Disponível • C.E.5. - Área disponível 	<ul style="list-style-type: none"> • C.A.1. - Critérios Sociais • C.A.1.1. - Áreas classificadas • C.A.1.2. - Potenciais Consumidores diretos • C.A.2 - Critérios Técnicos • C.A.2.1. - Rede de Transporte de Energia • C.A.2.2. - Estradas/Acessos • C.A.3. - Critérios Naturais • C.A.3.1. - Temperatura do Ar • C.A.3.2. - Altimetria e Topografia • C.A.3.3. - Disponibilidade de água • C.A.3.4. - Irradiação solar • C.A.3.5. - Exposição Solar • C.A.3.6. - Humidade Relativa

Figura 3.3.2 – Listagem de parâmetros para os critérios de exclusão e de adequabilidade

Uma boa seleção do local de exploração é uma componente crucial para o desenvolvimento de um projeto fotovoltaico. No entanto, não existe nenhuma regulação específica para a seleção do local. Para a fase de anteprojeto, os SIG's são uma boa ferramenta para a gestão e planeamento de uma CSFV. A escolha de um local pode fazer variar o rendimento de exploração entre 27 a 45%, sendo que nesta deve-se ter em conta um tempo de vida entre 25 a 30 anos. (Internacional Finance Corporation, 2015)

Em suma, na Figura 3.3.3 pode-se analisar uma metodologia pormenorizada que é proposta para esta dissertação.

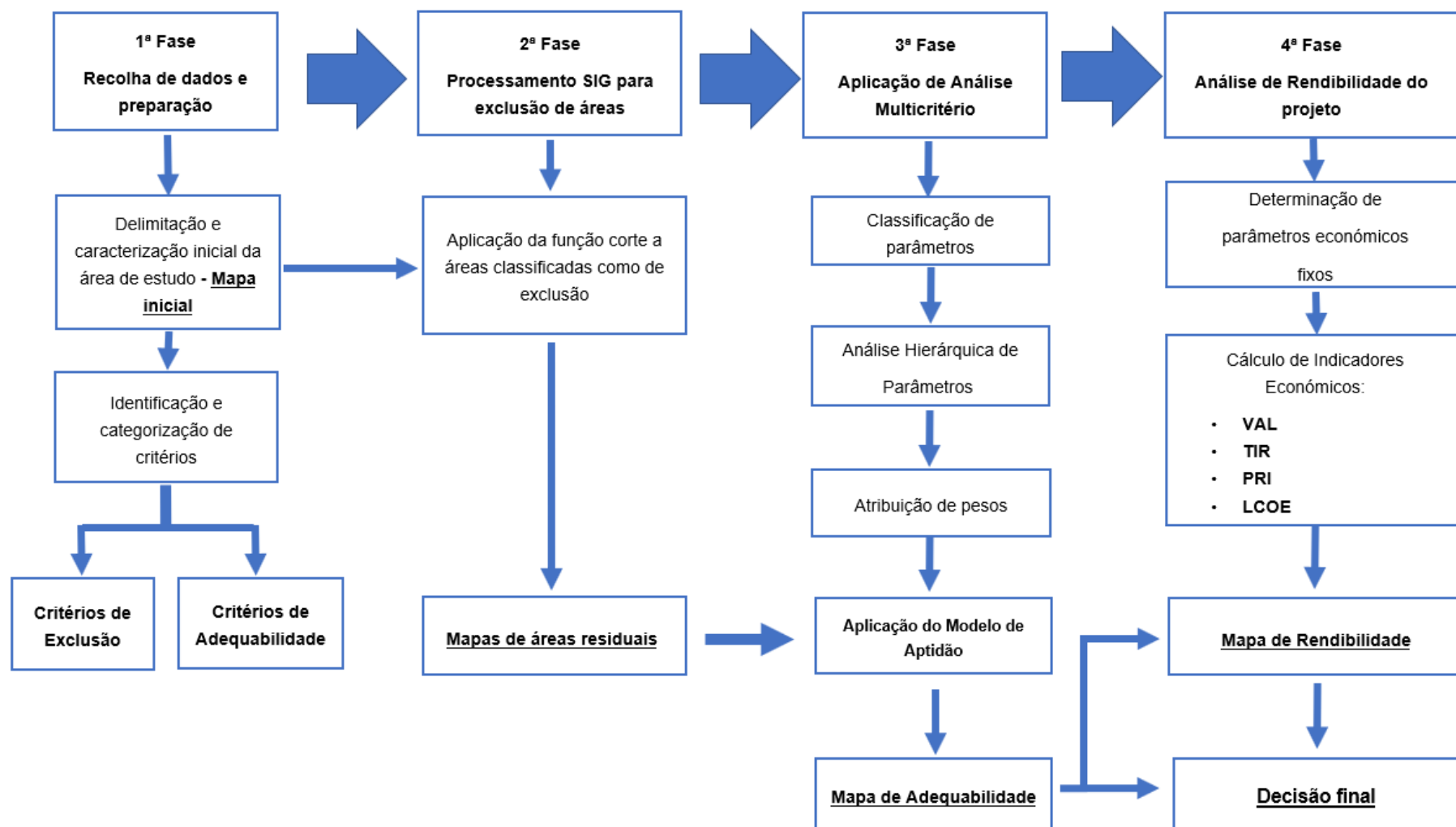


Figura 3.3.3 - Metodologia pormenorizada para cada fase desta dissertação

3.3.1 Metodologia Etapa 1 – Mapa inicial

A 1ª fase corresponde à caracterização, no contexto do território de Portugal Continental, da distribuição de irradiação solar anual, sem ser imposto restrições à sua exploração. Para tal, será necessário criar uma base de dados com 144 pontos de referência, tendo por base os dados obtidos no *PVGIS*. Assim sendo, para cumprir com a premissa acima enunciada serão utilizadas as seguintes operações de análise, em estrutura matricial:

1. **Levantamento de dados de irradiação** – consiste na leitura e importação de valores de irradiação e parâmetros de operacionalidade no local, disponíveis na BD europeia *PVGIS* (referencia prof. Europeu).
2. **Estimação da distribuição espacial dos valores de irradiação** – esta etapa consiste na estimação geoestatística dos dados de irradiação. As áreas com maior aptidão para a exploração do recurso correspondem às áreas onde se observem os valores mais elevados de irradiação.

Desta primeira fase resultará a área inicial de exploração de energia solar por todo o Portugal Continental. As áreas resultantes desta etapa são consideradas como áreas potenciais, que possuem o fim de avaliar os locais onde ocorram maiores níveis de irradiação solar.

3.3.2 Metodologia Etapa 2 - Seleção das áreas residuais

Nesta etapa procede-se à exclusão, a nível regional, de áreas consideradas interditas à instalação de uma CSFV, resultando um mapa com as áreas residuais sobre as quais será realizada uma avaliação posterior, a nível local, da aptidão do meio para a instalação deste tipo de projeto.

Após a criação da carta com as áreas iniciais, deve-se fazer o zonamento da área em estudo por aplicação dos critérios de exclusão, através de constrangimentos legais, sociais, logísticos e de natureza geológica/hidrogeológica. Sobre estas áreas, deve ser acrescentada uma distância de proteção (*buffer*), sendo que para estas áreas é aplicada um código binário que permite a identificação das áreas cujas características de ocupação levam à exclusão de qualquer avaliação posteriores e sendo retiradas assim do modelo em estudo, ficando assim um mapa de áreas residuais. (Caetano et al., 2005) Em suma, na Figura 3.3.4 encontra-se representado o esquema para o desenvolvimento do modelo SIG entre as 2 fases.

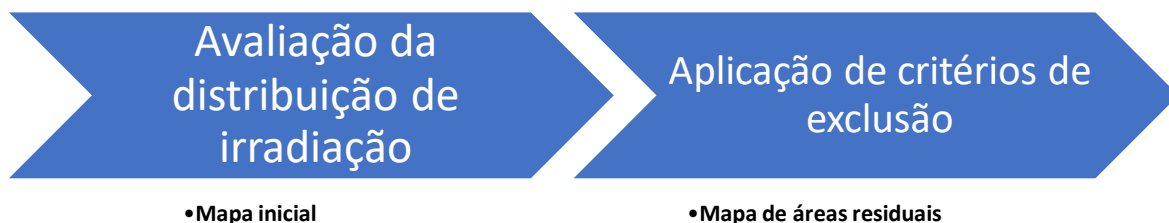


Figura 3.3.4 - Esquema do desenvolvimento da 2ª fase do modelo SIG

Na Tabela 3.3.1, apresentam-se as fontes dos critérios de exclusão adotados, bem como a escala a que serão trabalhados os dados.

Tabela 3.3.1 – Fontes e escalas dos mapas utilizados para os critérios de exclusão

<i>Crítérios</i>	<i>Parâmetros</i>	<i>Fonte</i>	<i>Escala</i>
<i>Uso do Solo</i>	Aterros não controlados de resíduos	SNIAMB	1:25.000
	Indústrias	SNIAMB	1:25.000
<i>Altimetria/Topografia</i>	Declives superiores a 18°	ESRI	1:25.000
<i>Fatores Hidrológicos/Geomorfológicos/Geológicos</i>	Rios/Canais/Lagos	SNIRH	1:25.000
	Planícies de inundação	SNIRH	1:25.000
	Falhas ativas	LNEG	1:1.000.000
	Zonas Costeiras	LNEG	1:1.000.000

3.3.3 Metodologia Etapa 3 - Hierarquização das áreas com maior aptidão

Após a aplicação dos critérios de exclusão da 2ª Etapa, a avaliação das áreas residuais, devem ser agora sujeitas a uma avaliação através da ponderação de parâmetros que intervenham na sua classificação em termos de suscetibilidade, vulnerabilidade e adequabilidade do local ao projeto. Com esta avaliação estabelece-se classes de aptidão, obtendo-se assim um output final com a hierarquização das áreas residuais, ficando assim definido os locais potenciais que devem ser sujeitos a uma avaliação de maior pormenor (Caetano et al., 2005).

Como tal, de forma a ser feita esta hierarquização, será seguido o Modelo de Aptidão. O Modelo de Aptidão (MA) resulta da soma ponderada do valor das classes dos parâmetros categorizados, expresso na seguinte equação (Brito, Lopes, Costa, Almeida, & Vendas, 2005):

$$MA = \sum_i^N f_i \times C_i \quad (28)$$

Sendo $\sum_i f_i = 1$

- i – Índice dos parâmetros de avaliação ($i = 1$ a N) para cada entidade
- f_i – fator de ponderação atribuído ao parâmetro i
- C_i – valor da classe do parâmetro de avaliação i
- M – Zonamento dos parâmetros avaliados

Para efeitos de exploração deste modelo, nesta dissertação será elaborada uma escala de adequabilidade [0;4] consoante as características consideradas, sejam estejam desfavoráveis ou favoráveis à construção e exploração do projeto, sendo que quanto maior for o seu valor, maior

será a sua adequabilidade e potencial à sua exploração, sendo que respetivamente o valor nulo (zero) é atribuído quando existe uma não aplicabilidade do parâmetro. Em suma a classificação dada a cada escalar pode ser analisado na Tabela 3.3.2:

Tabela 3.3.2 - Escala atribuída e sua respetiva classificação

Valor Escalar	Classificação
0	Não adequado
1	Adequabilidade reduzida
2	Adequabilidade moderada
3	Adequabilidade elevada
4	Adequabilidade muito elevada

O resultado da aplicação do modelo é um mapa de valores numéricos, que representam para cada local, um grau de maior ou menor aptidão do meio biofísico e antrópico à instalação deste tipo de projetos. Refere-se que o MA, considera a possibilidade de atribuir pesos diferentes aos diferentes parâmetros consoante a sua importância relativa, o que permite a formulação de diferentes cenários. Esta atribuição de pesos aos diferentes parâmetros poderá ser efetuada tendo por base estudos análogos e alguma bibliografia consultada para este efeito (Brito et al., 2005). Nesta fase, os temas (parâmetros), após categorizados com valores [0;4], de acordo com o seu grau de adequabilidade/suscetibilidade, são transformados em estrutura matricial para aplicação da equação do Modelo de Aptidão.

A hierarquização dos parâmetros em estudo, são listados hierarquicamente seguindo uma ordem de maior ou menor influência nos objetivos do cenário pretendido recorrendo a um Processo de Análise Hierárquica. Num PAH, (Processo de Análise Hierárquica), o mesmo envolve a estimação de prioridades a partir de uma matriz de comparação entre pares de parâmetros, sendo que os pesos entre parâmetros são determinados numa “Escala Fundamental de Saaty’s”, de 9 pontos tal como se pode analisar na Tabela 3.3.3 (Doorga et al., 2019).

Tabela 3.3.3 - Escala de intensidade de pesos segundo a “Escala Fundamental de Saaty’s” segundo (Doorga et al., 2019).

Intensidade do peso	Definição	Implicação
1	Igual importância	Os dois critérios contribuem igualmente aos objetivos
3	Moderadamente mais importante	Um dos critérios é ligeiramente favorecido em relação ao outro
5	Mais importante	Um dos critérios é mais importante que o outro
7	Muito mais importante	Um dos critérios é muito mais importante que o outro

9	Extremamente mais importante	A diferença de importância é bastante evidente num dos critérios possuindo este um maior poder de afirmação
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários	São aplicados quando o tipo de importância se encontra entre os valores da escala descritos acima

A atribuição do valor de intensidade do peso desta escala, nesta dissertação vai variar consoante o tipo de perspetiva que se tenha sobre um determinado tipo de projeto, pelo que nesta dissertação serão atribuídos 3 tipos de cenários, propostos no artigo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019):

- Cenário com parâmetros de igual peso (todos os parâmetros de valor 1 na escala fundamental de *Saaty*);
- Cenário da otimização do espaço numa perspetiva social e ambiental;
- Cenário de otimização do espaço numa perspetiva técnica e económica.

3.3.4 Metodologia Etapa 4 – Análise económica para uma CSFV

Quando analisados vários artigos e investigações relacionados com a ponderação para a instalação de uma CSFV, normalmente não se procede a uma análise económica. Esta análise não é contemplada, uma vez que a rentabilidade e a adequabilidade são dois tipos de perspetivas que podem não coincidir necessariamente, uma vez que um projeto rentável pode estar situado numa área não adequada, bem como uma área adequada pode não ser rentável na perspetiva do preponente. No entanto, uma análise desta ordem sem ser tido em conta a rentabilidade de um projeto, torna uma avaliação deste tipo bastante incompleta na perspetiva do investidor (Internacional Finance Corporation, 2015). Dado o referido, nesta dissertação, propõe-se a criação de um mapa de rentabilidade, como ferramenta de decisão para áreas com o mesmo valor de adequabilidade. De forma a mitigar a volatilidade e complexidade de resultados deste tipo de análise foi necessário estabelecer os seguintes parâmetros fixos:

- Investimento inicial (preço de venda por MWp e Potência instalada)
- Taxa de atualização
- Custos de Operação e Manutenção
- Horizonte de investimento
- Tipo de tecnologia aplicada

A fixação destes parâmetros será abordada no Capítulo 4.5. A resultante da fixação destes parâmetros levará a que seja possível calcular-se, de uma forma bastante simplificada, os seguintes indicadores económicos:

- VAL
- TIR

- PRI
- LCOE

Como já foi referido anteriormente, os pontos de análise serão os mesmos relativamente aos pontos de referência do mapa inicial, sendo que destes pontos será similarmente necessário proceder a uma regressão linear (krigagem), de forma a criar-se um mapa de rentabilidade sobre o mapa de áreas residuais representado na Figura 4.3.12. Sobre este mapa, dever-se-á proceder-se à comparação de mapas entre os mapas de adequabilidade e o mapa de rentabilidade sendo que sobre estes, procurar-se-á regiões onde seja possível maximizar simultaneamente a sua rentabilidade com a sua adequabilidade.

4 Implementação do modelo

4.1 Apresentação do software *ArcGIS*

O software utilizado para esta dissertação foi o software *ArcGIS*. O *ArcGIS* consiste num software SIG que permite reunir mapas, aplicações e dados numa plataforma online com o intuito de promover tomadas de decisão recorrendo a sistemas de apoio à decisão. Como tal este é um software desenhado para auxiliar no planeamento e análise de projetos, bem como nas fases de manutenção e operação a partir de uma base de dados.

Em relação às capacidades do *ArcGIS*, este software apresenta a seguinte lista de possibilidades de operação com este sistema:

- Análise Espacial;
- Funcionalidades de *Big Data*;
- Gestão e análise de imagens;
- Componente 3D;
- Funcionalidades para desenho assistido por computador (*CAD – Computer Aided Design*);
- Acesso a uma plataforma online.

Com esta plataforma, dependendo do tipo de fase e critérios abordados no Capítulo 3, será possível fazer-se uma análise dos dados recolhidos e partindo deste ponto, tecer observações e conclusões acerca da exploração do recurso.

4.2 Etapa 1 – Mapa inicial

De forma a ser feita uma análise inicial da disponibilidade do recurso solar, foram seguidos os seguintes três passos metodológicos

- Passo 1 – Aquisição de dados a partir da plataforma PVGIS;
- Passo 2 – Estimção geoestatística dos valores de irradiação solar;
- Passo 3 – Confirmação da existência de intensidades insuficientes de irradiação solar para a instalação de uma CSFV.

Passo 1 – Aquisição de dados a partir da plataforma PVGIS:

Inicialmente, de forma a fazer uma análise do recurso solar, como já foi referido anteriormente, recorreu-se à plataforma *PVGIS* (*Photovoltaic Geographical Information System*), que consiste num SIG de dados climáticos aplicados ao aproveitamento da energia solar (EU Science Hub, 2019).

The screenshot shows the 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' interface with the following parameters:

- Solar radiation database***: PVGIS-CMSAF
- PV technology***: Crystalline silicon
- Installed peak PV power [kWp]***: 50000
- System loss [%]***: 14
- Fixed mounting options**:
 - Mounting position ***: Free-standing
 - Slope [°]***: 35
 - Azimuth [°]***: 0
 - ☐ **PV electricity price**
 - ☐ **Optimize slope**
 - ☐ **Optimize slope and azimuth**
- PV system cost (your currency)**: [Empty field]
- Interest [%/year]**: [Empty field]
- Lifetime [years]**: [Empty field]

Figura 4.2.1 - Dados pré-estabelecidos para a construção da amostragem de pontos a partir do *PVGIS*

Como é possível observar-se na Figura 4.2.1, nesta plataforma, foi estabelecido que o ângulo de inclinação dos painéis corresponderia ao ângulo ótimo geral aplicável a Portugal Continental (35°), sendo que estes painéis serão de eixo fixo. Foi também estabelecido que para o cálculo da performance e desempenho dos painéis, que para a potência instalada da CSFV a mesma corresponde a 50 MWp. Em relação à escolha da base de dados foi escolhida a base de dados recolhidos a partir do satélite *PVGIS-CSMAF*, uma vez que este é o que apresenta menores desvios e que por sua vez, mais se aproxima do valor real face os valores medidos para Portugal Continental.

De forma a ser feita uma análise espacial do mapa de irradiação foi criada uma malha de 144 pontos georreferenciados sendo que a sua distribuição pode ser visualizada na Figura 4.2.2

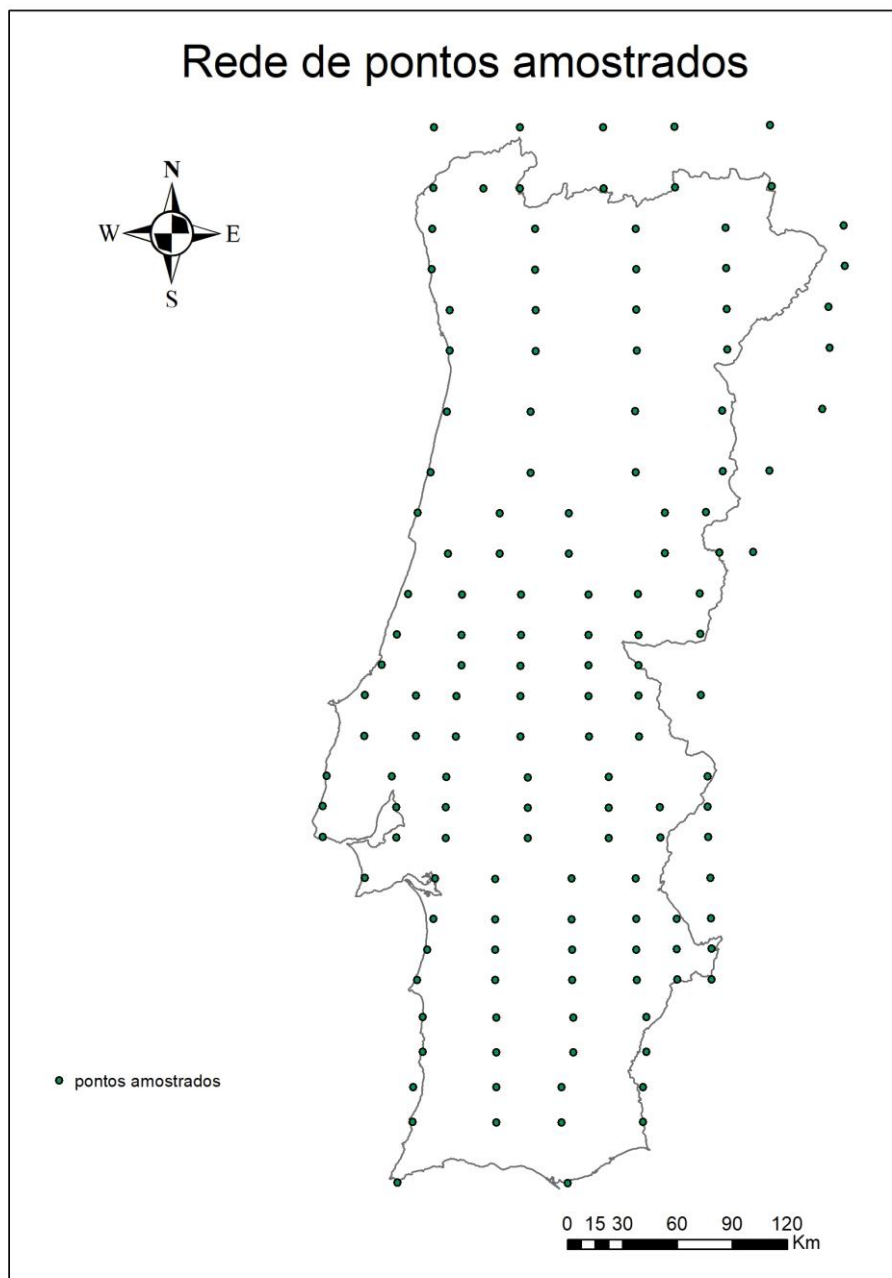


Figura 4.2.2 - Rede de pontos amostrados para estimação geoestatística

Nesta 1ª fase, como output criado para os dados recolhidos do *PVGIS* foi criada uma tabela com os seguintes elementos:

Tabela 4.2.1 - Tabela com exemplos de amostras criadas a partir da análise de dados usando o PVGIS

Longitude	Latitude	Temperatura (°C)	Irradiação anual no plano horizontal (kWh/m ²)	Irradiação anual no plano ótimo (kWh/m ²)
-8.094	41.7	16.6	1880	2418
-8.655	40.1	16.1	1940	2495
-8.793	37.817	17.3	2160	2778

Quanto ao plano de irradiação anual no plano ótimo, o resultado era de obtenção direta, no entanto o mesmo não se verificou no cálculo da temperatura média diária. Como tal, foi necessário fazer uma média aritmética da temperatura ao longo das horas de sol para os vários meses do ano analisando os valores diários de vários gráficos para cada respetivo mês, sendo que o tipo de gráfico analisado pode ser analisado na Figura 4.2.3:

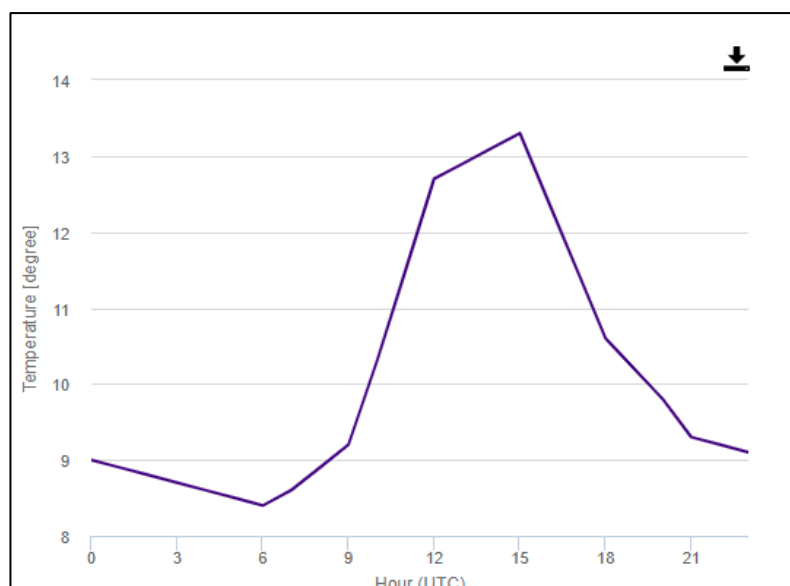


Figura 4.2.3 - Gráfico de variação da temperatura do mês de Janeiro ao longo do dia segundo os dados obtidos pela plataforma PVGIS

As coordenadas geográficas dos dados recolhidos foram convertidos para sistema de coordenadas cartográficas ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*), através do software *ArcGIS*. Com base nos dados de irradiação foram estimados mapas de irradiação, através do método geoestatístico da krigagem simples (Almeida, 2018). Após criada a base de dados relativos à irradiação solar numa folha *Excel*, os mesmos foram introduzidos no software *ArcGIS*.

Passo 2 – Estimação geoestatística dos valores de irradiação solar

Após a introdução dos dados foi realizada uma krigagem dos dados do tipo simples, uma vez que este tipo de krigagem remete para o valor médio entre duas variáveis estimando assim uma previsão média entre duas coordenadas de estudo, sendo assim de maior aplicabilidade para casos em que haja uma variação linear, tal como é o caso de parâmetros climáticos como a irradiação.

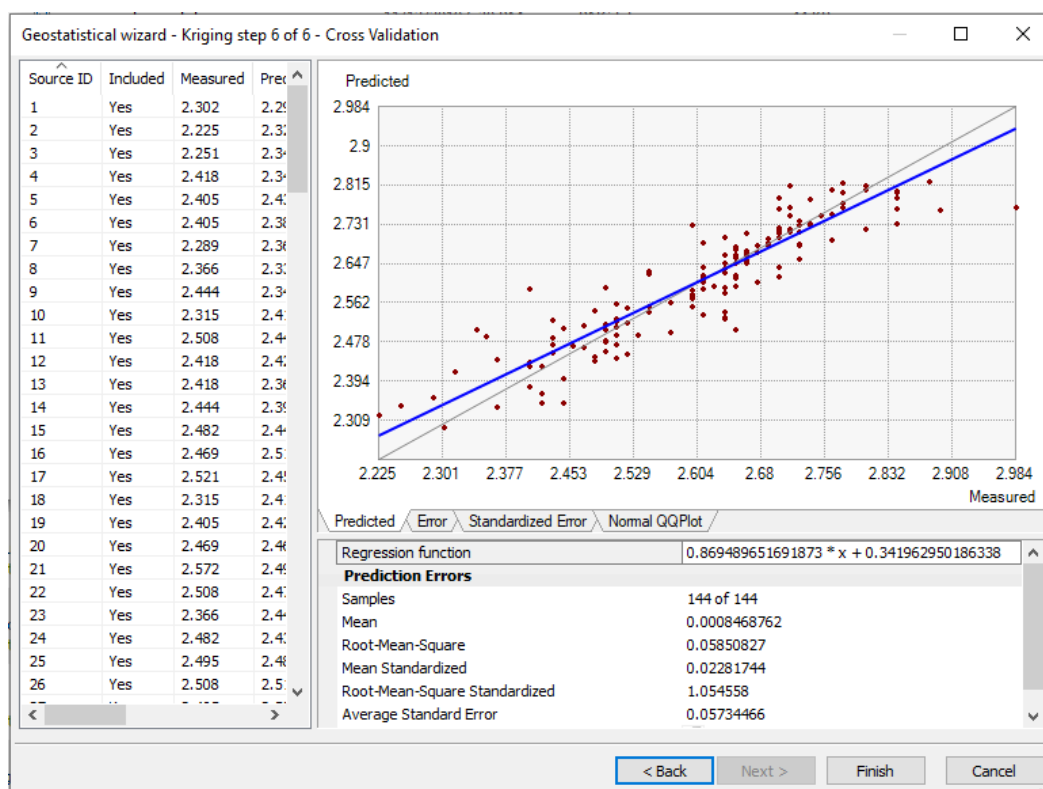


Figura 4.2.4 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicado à irradiação

Pela Figura 4.2.4, é possível observar-se que este é o modelo de krigagem que mais se adequa à estimação da variação de irradiação solar, dado que:

- O erro médio encontra-se muito próximo de zero;
- A raiz do erro médio quadrático encontra-se próximo de um;
- O erro padrão médio encontra-se próximo de zero;
- As amostras encontram-se relativamente próximas da linha de tendência.

Passo 3 – Confirmação da existência de intensidades insuficientes de irradiação solar para a instalação de uma CSFV.

Na Figura 4.2.5, é possível constatar que existe uma maior intensidade da irradiação solar à medida que se vai diminuindo a latitude, tal como seria de esperar, sendo que na região de Faro e ao longo da Costa Vicentina foram os locais onde se registaram maiores valores de intensidade de irradiação (variando entre os 2749 kW/m² e os 2923 kW/m²). Por oposição na região norte de Portugal e na Beira Alta foram registados intensidades de radiação mais baixa (variando entre os 2245 kW/m² e os 2451 kW/m²), apesar de serem valores considerados mais reduzidos os mesmos não são suficientes para serem considerados como fatores de exclusão pelo o que já foi abordado no Capítulo 3.2.1. Estes continuam a ser valores excelentes para a exploração deste recurso assinalando assim o enorme potencial que Portugal Continental possui para a exploração deste recurso renovável. Porém ao analisar-se o mapa é possível constatar-se pequenas oscilações para uma mesma latitude. Estas anomalias de valores ocorrem, uma vez que existem diferentes ocorrências meteorológicas e de humidade levando assim à variação de valores para uma mesma latitude.

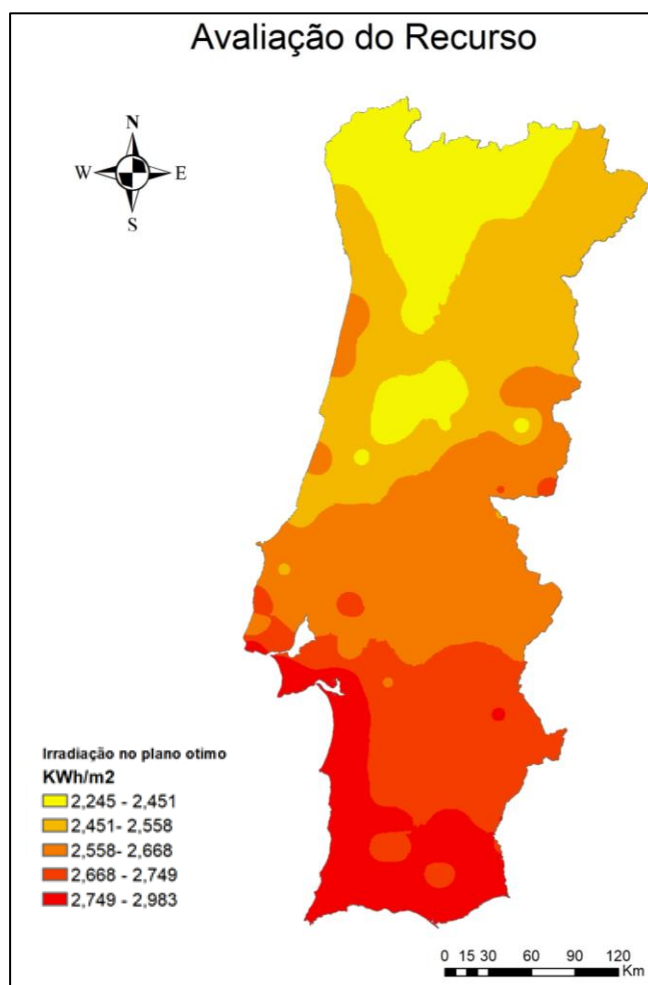


Figura 4.2.5 - Mapa estimado de irradiação no plano ótimo por Portugal Continental (mapa inicial)

4.3 Etapa 2 - Elaboração da carta de condicionantes

Como referido no Capítulo 3.2.1, os parâmetros que servirão para definir as áreas de exclusão são os seguintes:

- I. **Uso do solo**
 - a. Áreas industriais
 - b. Aterros não controlados de resíduos
- II. **Fatores hidrológicos geomorfológicos e geológicos**
 - a. Rios/Canais/Lagos
 - b. Planícies de inundação
 - c. Falhas ativas
 - d. Declives > 18°
- III. **Efeito de sombreamento**
- IV. **Irradiação solar disponível**
- V. **Área disponível**

Mais uma vez se refere que, relativamente ao efeito de sombreamento, que apesar de ser considerado como parâmetro de exclusão este não foi contemplado no modelo de avaliação devido à escala de análise desta dissertação. Similarmente, relativamente ao parâmetro da irradiação solar disponível, apesar de também ser considerado um parâmetro de exclusão, dadas as características meteorológicas de Portugal Continental, a irradiação não influenciou as áreas de exclusão, como referido no Capítulo 3.2.1.

4.3.1 Uso do Solo

De forma a evitar constrangimentos relativos ao uso do solo, foi necessário seguir os seguintes dois passos metodológicos:

- Passo 1 - Levantamento do inventário de indústrias e locais com deposição não controlada de resíduos;
- Passo 2 – Aplicação das distâncias de proteção

Passo 1 - Levantamento do inventário de indústrias e locais com deposição não controlada de resíduos

A informação relativa ao uso do solo contemplou o inventário das indústrias disponível na plataforma SNIAMB da APA (APA, 2019), bem como alguns locais identificados com deposição não controlada de resíduos, apresentada na Figura 4.3.1.

Passo 2 – Aplicação das distâncias de proteção

Tal como referido no capítulo 3.2.2 e na Tabela 3.2.2, aos elementos cartografados foram aplicadas as respetivas distâncias de proteção, através da função buffer implementada no software *ArcGIS*, cujo resultado se apresenta na Figura 4.3.1.

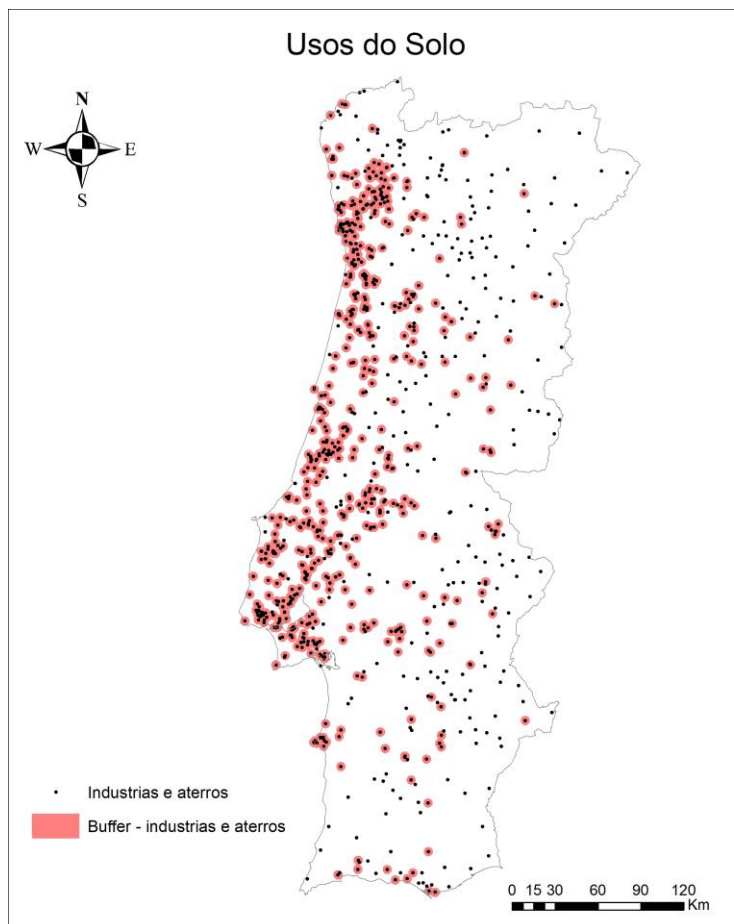


Figura 4.3.1 - Aplicação da função buffer a indústrias e lixeiras

4.3.2 Fatores Geotécnicos

Para este grupo de parâmetros foi necessário subdividir o mesmo em três grandes grupos, tal como se pode observar na Tabela 4.3.1:

Tabela 4.3.1 - Categorização dos parâmetros de exclusão

Grupos	Parâmetros
Hidrologia	Principais Rios Zonas Costeiras Captações de água
Geomorfologia	Declives acentuados (> 18°)
Geologia	Falhas Ativas Aluviões

Hidrologia

Para o grupo da hidrologia foram seguidos os seguintes seis passos metodológicos:

- Passo 1 - Recolha da rede hidrográfica e pontos de captação de água;
- Passo 2 – Seleção dos principais rios;
- Passo 3 – Aplicação de distâncias de proteção aos principais rios;
- Passo 4 - Aplicação de distâncias de proteção às principais captações de água;
- Passo 5 – Aplicação de distâncias de proteção à linha costeira
- Passo 6 – União dos polígonos dos principais rios e principais captações de água.

Passo 1 - Recolha da rede hidrográfica e pontos de captação de água

Para o dimensionamento dos principais rios, foi necessário recorrer à informação recolhida no SNIRH, de forma a ser possível a análise o efeito dos principais rios em Portugal Continental como se pode observar no primeiro mapa da Figura 4.3.2.

Passo 2 – Seleção dos principais rios

A esta rede hidrográfica, foram agora selecionados os principais rios, devido à escala de análise neste modelo, tal como se pode observar no segundo mapa da Figura 4.3.2.

Passo 3 – Aplicação de distâncias de proteção aos principais rios

De seguida foram aplicadas as distâncias de proteção sugeridas na Tabela 3.2.2, através da função *buffer* implementada no software *ArcGIS*, cujo resultado se apresenta na Figura 4.3.2.

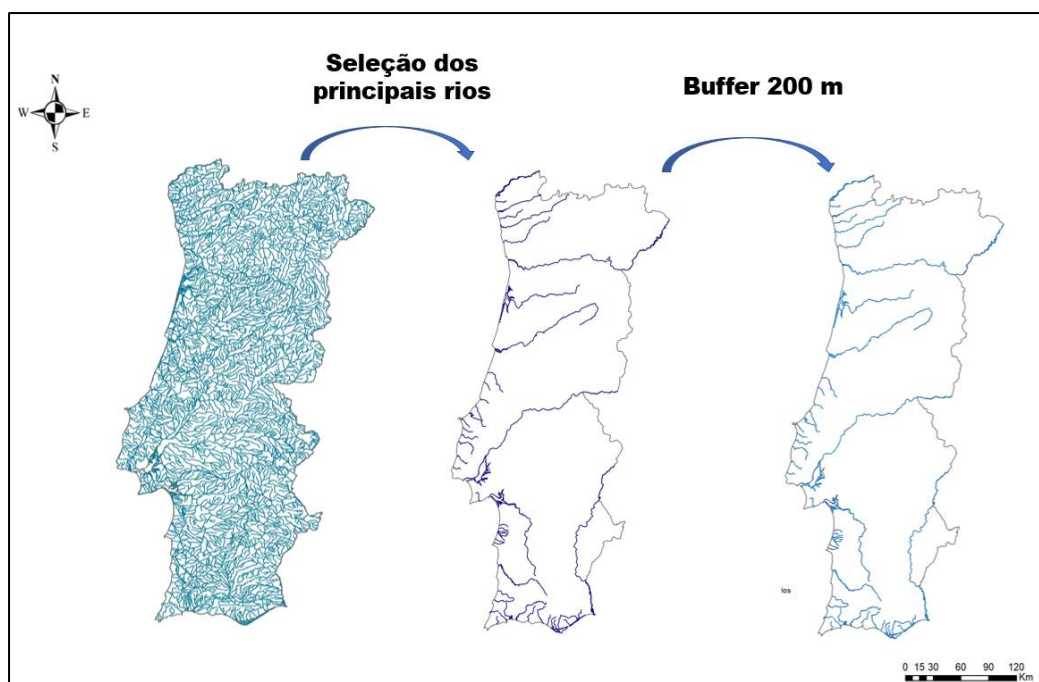


Figura 4.3.2 - Metodologia SIG aplicada aos principais rios

Passo 4 - Aplicação de distâncias de proteção às principais captações de água

Relativamente às captações de água, similarmente ao que se procedeu aos principais rios, foram aplicadas as distâncias de proteção sugeridas na Tabela 3.2.2, sendo que o resultado pode ser observado na Figura 4.3.3.

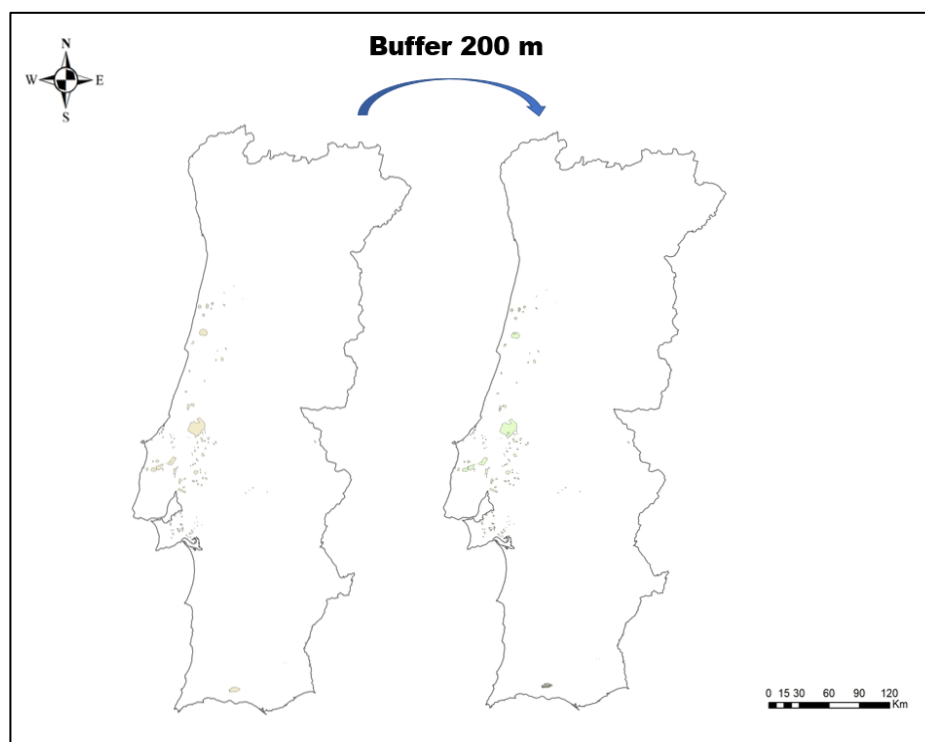


Figura 4.3.3 - Aplicação da função buffer aos perímetros de proteção de captações de água

Passo 5 – Aplicação de distâncias de proteção à linha costeira

Ainda dentro do grupo da hidrologia, foi necessário excluir áreas junto ao litoral, pelo que para tal, recorreu-se ao mapa de Portugal Continental e à zona costeira foi aplicada uma distância tampão de 200 metros Giamalaki & Tsoutsos, 2019).

Passo 6 – União dos polígonos dos principais rios e principais captações de água

No final a estes 3 subgrupos da hidrologia foi aplicada uma função de união (*Merge*), resultando assim na seguinte área de exclusão hidrológica, sendo que o output final deste parâmetro pode ser observado na Figura 4.3.4.

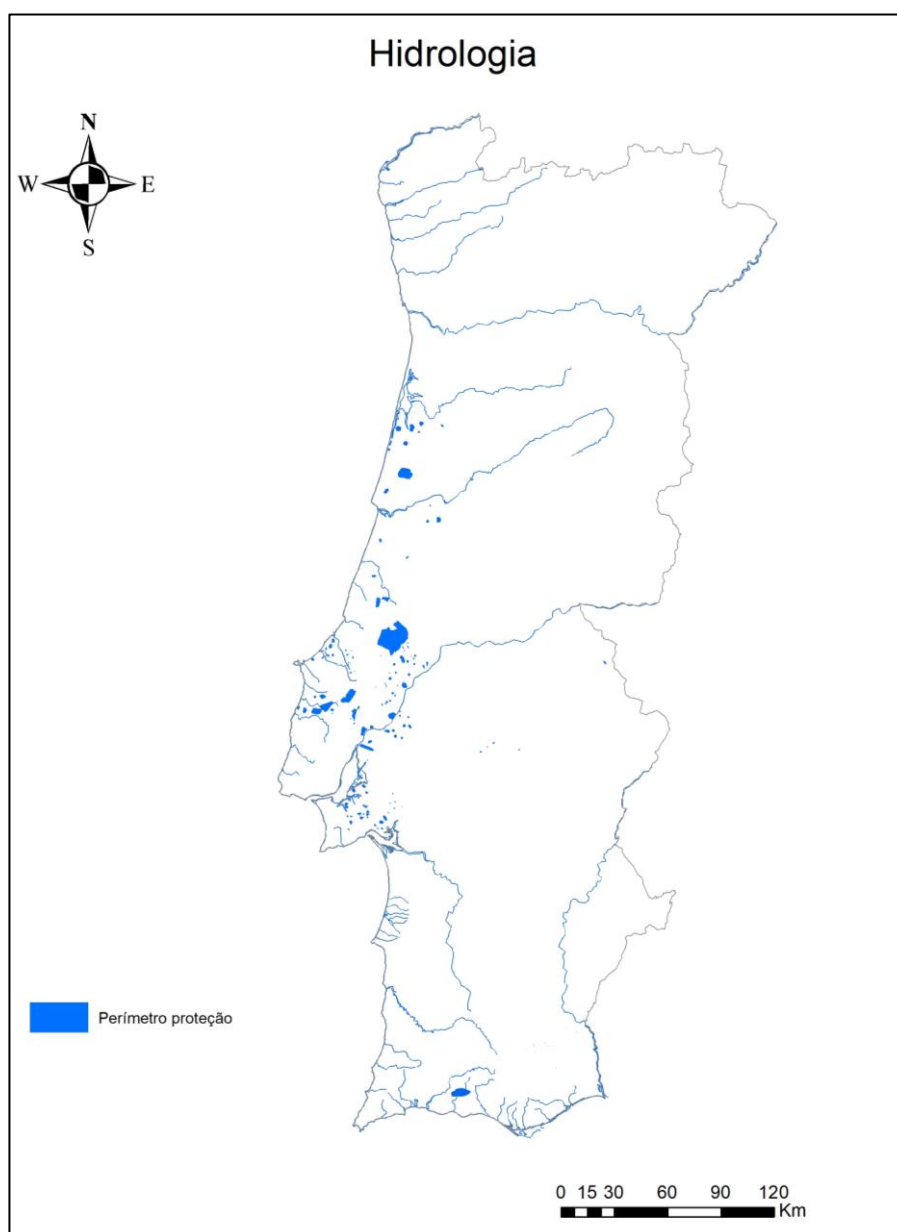


Figura 4.3.4 - Áreas de exclusão do parâmetro hidrológico

Geologia

Para o grupo da Geologia, como já foi abordado anteriormente, foi analisado a distribuição de aluviões e distribuição de falhas ativas, sendo que para este grupo de parâmetros foram seguidos os seguintes cinco passos metodológicos:

- Passo 1 – Recolha da distribuição de aluviões e de falhas geológicas em Portugal Continental;
- Passo 2 – Aplicação de distâncias de proteção a aluviões;
- Passo 3 – Seleção de falhas ativas;
- Passo 4 – Aplicação de distâncias de proteção a falhas ativas;
- Passo 5 – União dos perímetros de proteção aos aluviões e falhas ativas.

Passo 1 – Recolha da distribuição de aluviões e de falhas geológicas em Portugal Continental;

De forma a recolher dados relativos ao parâmetro da geologia, foi necessário recorrer ao mapa de geologia de Portugal do LNEG (LNEG, 2010), onde deste foi possível digitalizar a distribuição de aluviões e de falhas geológicas.

Passo 2 – Aplicação de distâncias de proteção a aluviões;

Relativamente à distribuição de formações aluvionares, foram aplicadas distâncias de proteção sugeridas na Tabela 3.2.2 tal como pode ser visualizado na Figura 4.3.5.

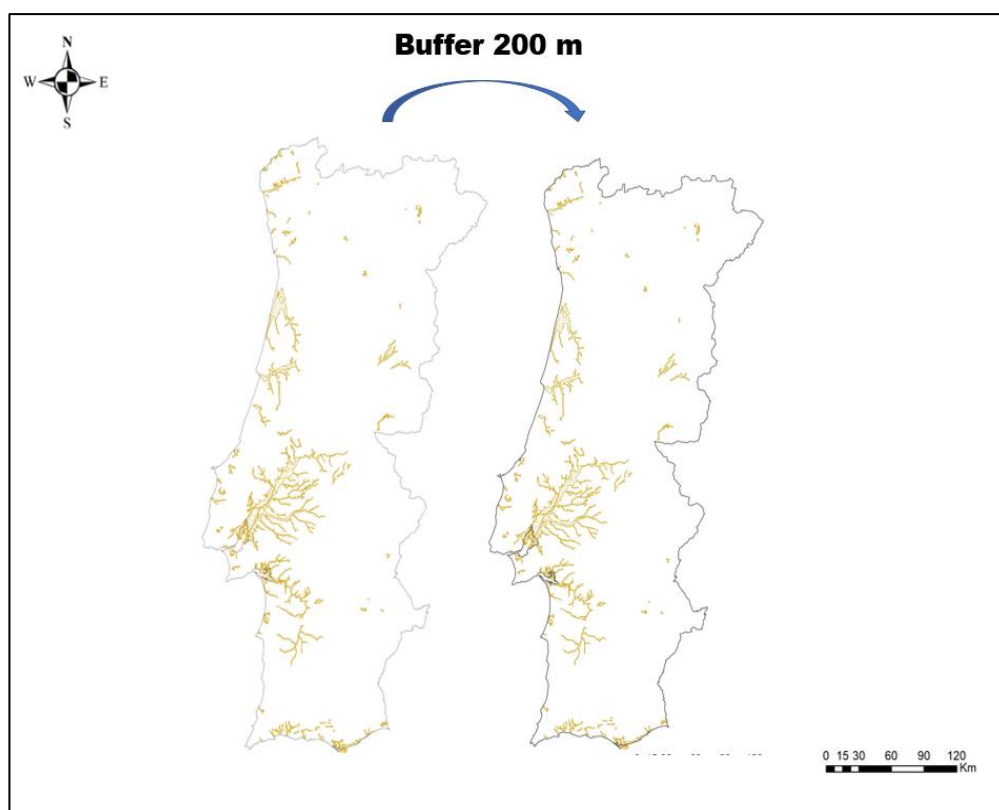


Figura 4.3.5 - Aplicação da função buffer a áreas com a litologia aluvião

Passo 3 – Seleção de falhas ativas

Quanto à presença de falhas ativas, foi agora necessário analisar o mapa de distribuição de falhas, recolhidos no (LNEG, 2010). Deste mapa de falhas foram selecionadas as falhas do tipo ativa,

Passo 4 – Aplicação de distâncias de proteção a falhas ativas

Após a seleção das falhas ativas, a estas foi agora aplicado a distância tampão sugerida na Tabela 3.2.2, resultando assim no processo metodológico representado na Figura 4.3.6.

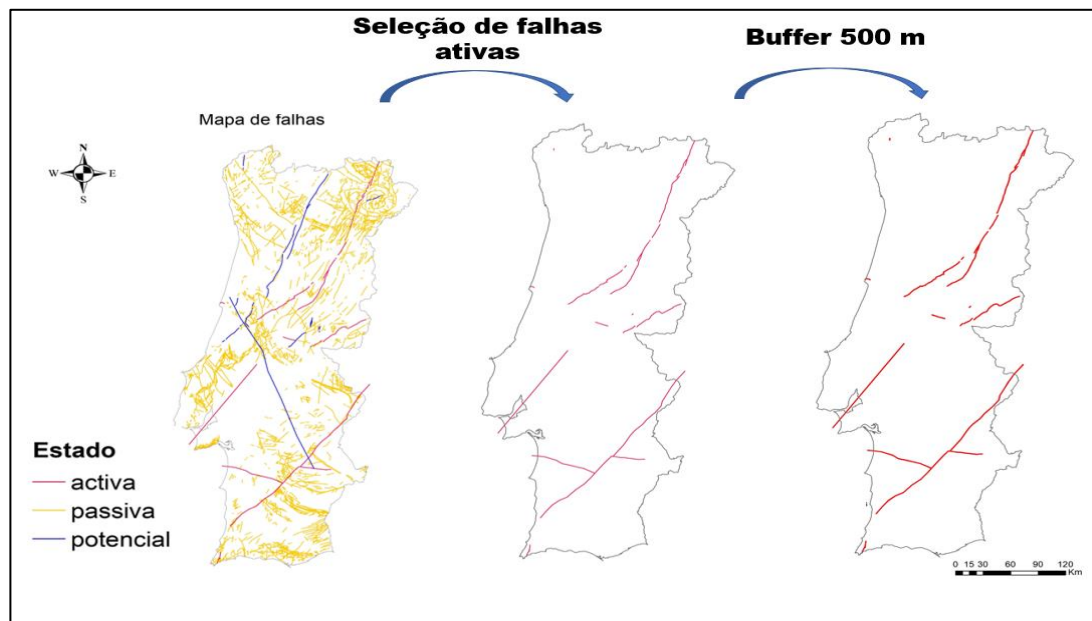


Figura 4.3.6 – Seleção de falhas ativas e aplicação de perímetros de proteção (*Buffer*)

Passo 5 – União dos perímetros de proteção aos aluviões e falhas ativas

De forma análoga ao grupo da hidrologia, foi agora aplicada a função *Union* de forma a unir estes dois perímetros de proteção, cujo resultado final pode ser observado na Figura 4.3.7:

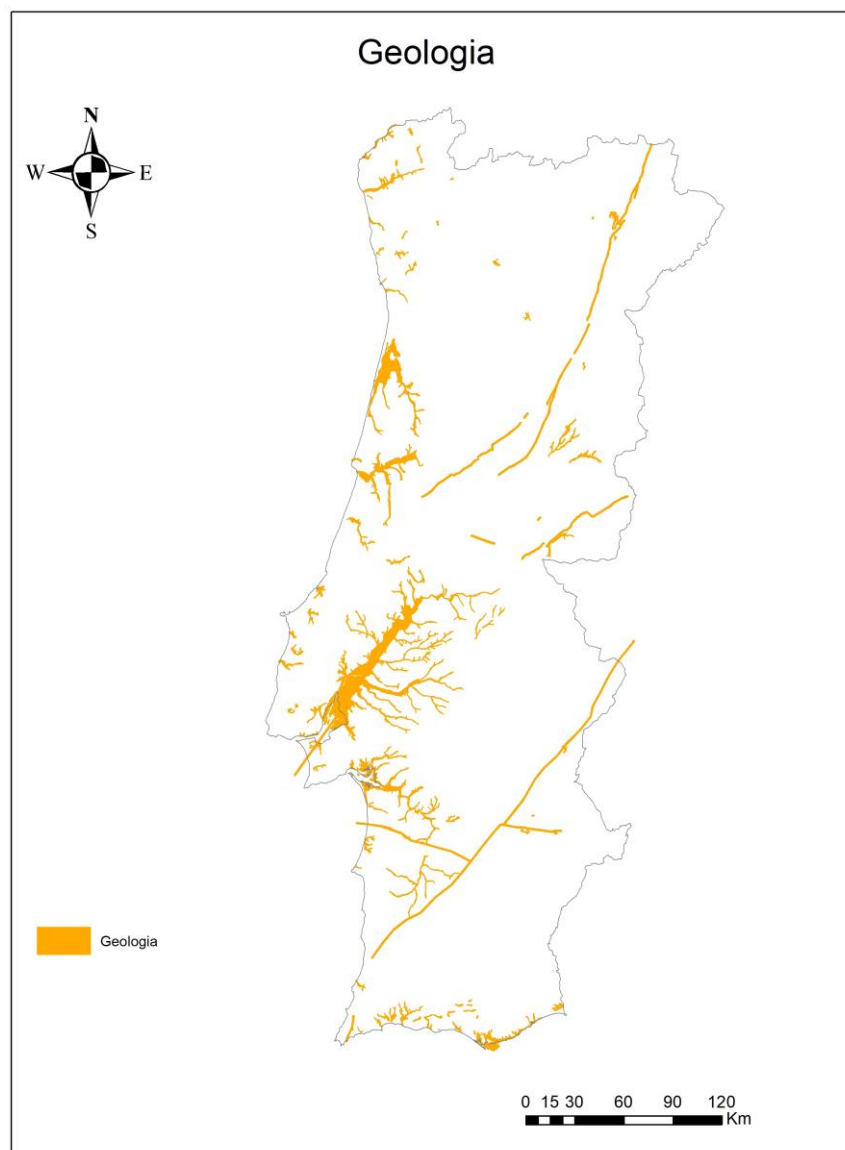


Figura 4.3.7 - Perímetro de proteção aplicado a constrangimentos de natureza geológica

Geomorfologia

Quanto à morfologia do terreno, foi realizada uma análise aos declives dos terrenos, tendo por base os seguintes dois passos metodológicos:

- Passo 1 – Aquisição do MDT no software *ArcGIS*
- Passo 2 – Seleção de declives superiores a 18° e aplicação de distâncias de proteção

Passo 1 – Aquisição do MDT no software *ArcGIS*

Quanto ao cálculo do declive do terreno, este foi possível a partir da aquisição do MDT de Portugal Continental retirado da (ESRI, 2009),

Passo 2 – Seleção de declives superiores a 18° e aplicação de distâncias de proteção

Do MDT, foram seleccionadas as áreas cujo declive fosse superior a 18°, adotando a distância de proteção sugerida na Tabela 3.2.2. Todo este processo metodológico pode ser analisado na Figura 4.3.8.

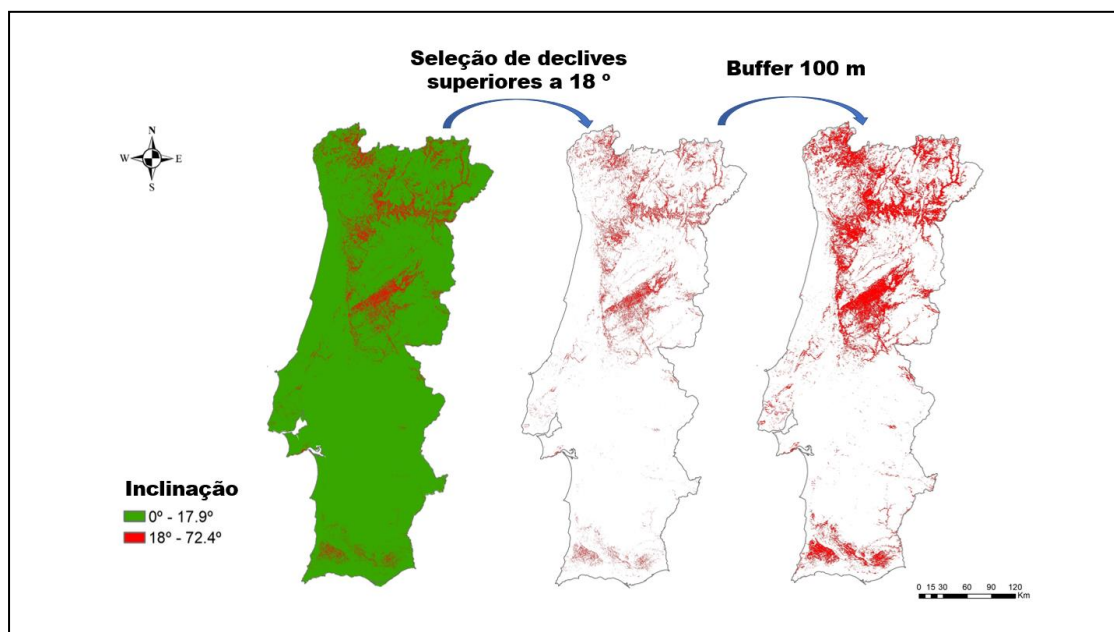


Figura 4.3.8 - Metodologia aplicada ao declive do terreno

4.3.3 Seleção da Área Disponível

A implementação de uma CSFV apenas poderá realizar-se nas áreas residuais onde não seja observada a ocorrência dos parâmetros de exclusão definidos. Assim, para a identificação das áreas denominadas por “áreas residuais” foram seguidos os seguintes passos:

- Passo 1 - Integração espacial dos parâmetros de exclusão, com respetivas áreas de proteção
- Passo 2 - Subtração das áreas de exclusão ao limite da área em estudo

Passo 1 – Integração espacial dos parâmetros de exclusão, com respetivas áreas de proteção

Para a realização desta tarefa foi utilizada a função *Merge* implementada no software *ArcGIS*:

Passo 2 – Subtração das áreas de exclusão ao limite da área em estudo

Após a integração dos parâmetros de exclusão num único ficheiro de dados, foi aplicada a função *Erase*, com vista a retirar as áreas de exclusão ao limite de Portugal Continental. Na Figura 4.3.9 apresenta-se o mapa de áreas residuais obtido.

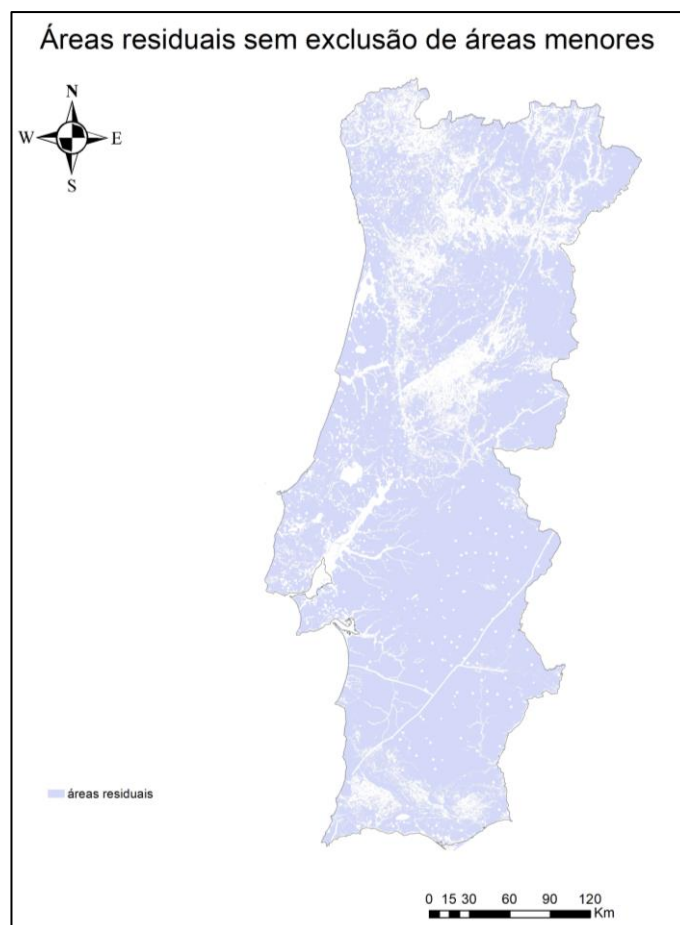


Figura 4.3.9 - Mapa inicial de áreas residuais

Pela análise da Figura 4.3.9 verifica-se a ocorrência de áreas de dimensão reduzida, inferior à dimensão mínima definida para a implementação de uma CFVF, tal como referido no Capítulo 3.2.1. Assim, das áreas residuais apresentadas, foram removidas todas aquelas inferiores a 117 hectares dado que, segundo (Ong et al., 2013), as CFVF de potencia 50 MW só poderão ser instaladas em parcelas de terreno cujas áreas sejam superiores a 117 hectares, tal como se pode observar na Figura 4.3.10.

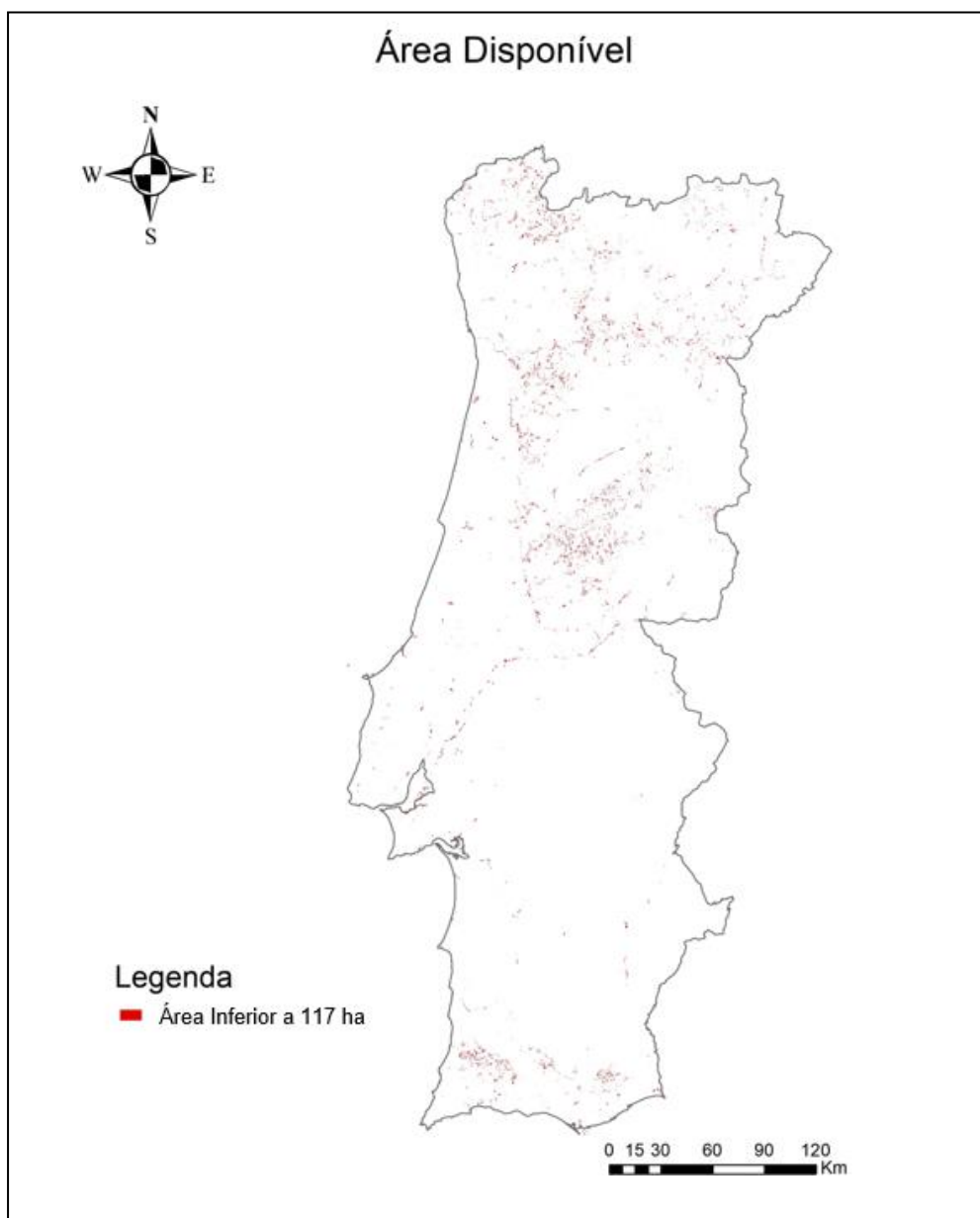


Figura 4.3.10 - Mapa de distribuição de áreas menores que 117 hectares

4.3.4 Carta de Condicionantes Final

Após a introdução do parâmetro da área disponível, foi agora necessário unir este último parâmetro, resultando assim na Figura 4.3.11 com o seguinte mapa final de áreas de exclusão:

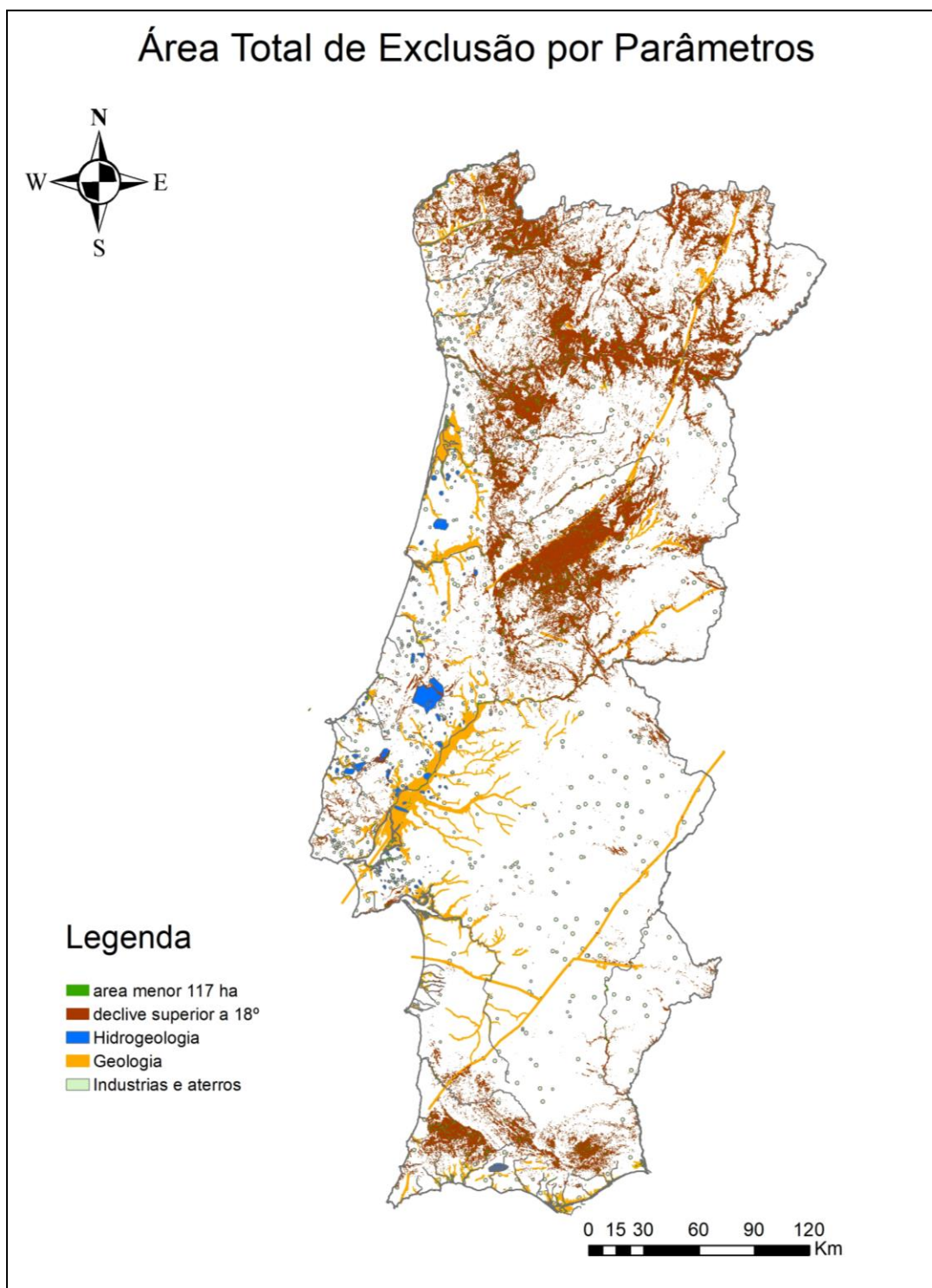


Figura 4.3.11 - Mapa de área total de exclusão por parâmetros

Da Figura 4.3.11, é possível analisar-se que o parâmetro de exclusão com maior representatividade corresponde ao parâmetro declive, sendo que deste, a maior parte das áreas de exclusão encontram-se nas **regiões norte de Portugal e centro norte de Portugal Continental**. Nota-se também uma área de exclusão significativa na região sul de Portugal devido à influência dos declives, mas também devido à vasta distribuição de aluviões e da existência de captações de água com perímetro de proteção que poderão influenciar na decisão final de escolha de um local para uma CSFV.

Para a definição do mapa final das áreas residuais, foi aplicada a função *Erase* ao polígono de Portugal Continental onde foram subtraídas as áreas de exclusão resultando assim no seguinte mapa de áreas residuais representado na Figura 4.3.12.

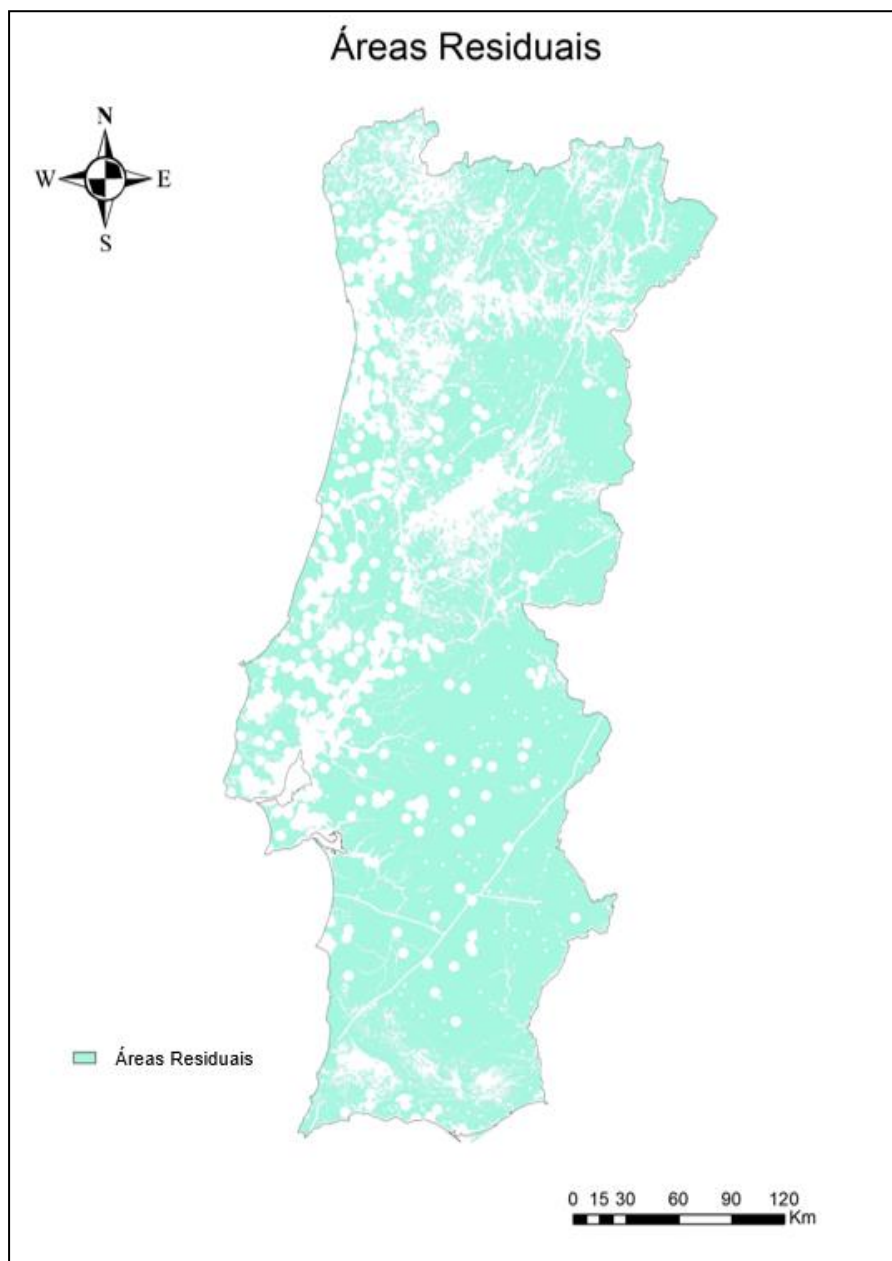


Figura 4.3.12 - Mapa final de áreas residuais

4.4 Etapa 3 - Elaboração de carta de adequabilidade

4.4.1 Critérios Sociais

Dentro deste grupo de critérios foram agregados parâmetros que estejam interligados com o impacto que estes podem ter na sociedade e como tal foram agregados os seguintes parâmetros:

- **Potenciais consumidores diretos;**
- **Áreas Classificadas.**

Potenciais consumidores diretos

Dentro dos potenciais consumidores diretos, para uma análise do *ArcGIS*, houve uma necessidade de subdividir este parâmetro em 2 partes:

- **Consumidores do setor industrial;**
- **Consumidores do setor doméstico.**

De forma a avaliar este parâmetro, foram seguidos os seguintes seis passos metodológicos

- Passo 1 – Aquisição de dados da base BGRI para o software *ArcGIS*
- Passo 2 – Reclassificação do mapa de densidade populacional
- Passo 3 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais
- Passo 4 – Aplicação de múltiplos perímetros de distância às indústrias e sua respetiva reclassificação
- Passo 5 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais

Passo 1 – Aquisição de dados da base BGRI para o software ArcGIS

Para o caso dos **consumidores do setor doméstico**, não foi possível aplicar diretamente a classificação sugerida por (Noorollahi et al., 2016) dado que à escala de análise desta dissertação é **inviável** a análise de todos os edifícios de um determinado município, pelo que para este subgrupo, a classificação é feita consoante os intervalos naturais de distribuição de densidade populacional por distrito ao longo de Portugal Continental.

Para tal, recorreu-se à base de dados da plataforma BGRI (INE, 2011), de forma a recolher informação relativo à densidade populacional de um determinado município, tal como se pode observar na Figura 4.4.1.

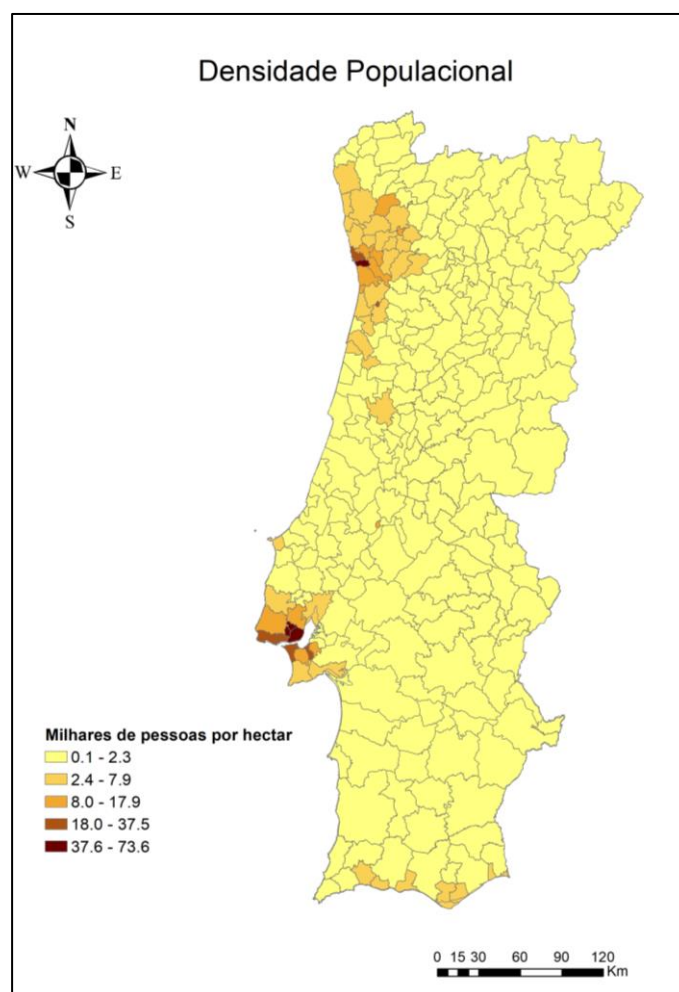


Figura 4.4.1 - Densidade populacional segundo os dados da (INE, 2011)

Passo 2 – Reclassificação do mapa de densidade populacional

No segundo mapa da Figura 4.4.2 apresenta-se a reclassificação do mapa de densidade populacional de Portugal Continental, em 5 classes consoante os intervalos naturais de distribuição

Passo 3 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais

No terceiro mapa da Figura 4.4.2 foi intersetado o mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12) resultando assim no mapa final para os consumidores do setor doméstico.

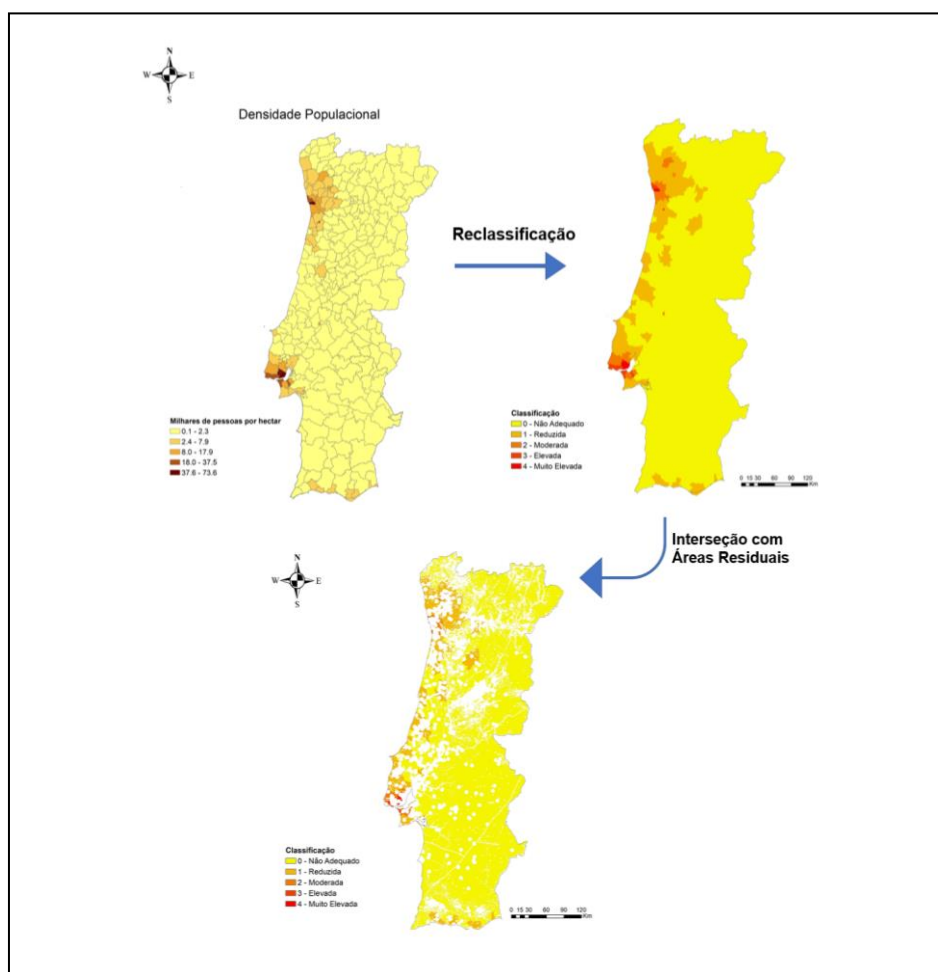


Figura 4.4.2 - Metodologia aplicada aos potenciais consumidores domésticos

Passo 4 – Aplicação de múltiplos perímetros de distância às indústrias e sua respetiva reclassificação

Para o caso dos consumidores do setor industrial, foram reutilizados os resultados obtidos na 2ª Etapa (localização de indústrias) e a estes foram aplicados **múltiplos buffers**, tendo em vista a classificação sugerida por (Noorollahi et al., 2016) como foi abordado na Tabela 3.2.4. É importante referir que para este subgrupo é definido que a CSFV **não deverá estar localizada a 3000 metros de uma indústria**, mas a distâncias superiores é benéfico dado o que já foi abordado no Capítulo 3.2.3.

Passo 5 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais

O segundo mapa reclassificado da Figura 4.4.3, foi agora intersetado com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12) O resultado final para este parâmetro pode ser analisado na Figura 4.4.3

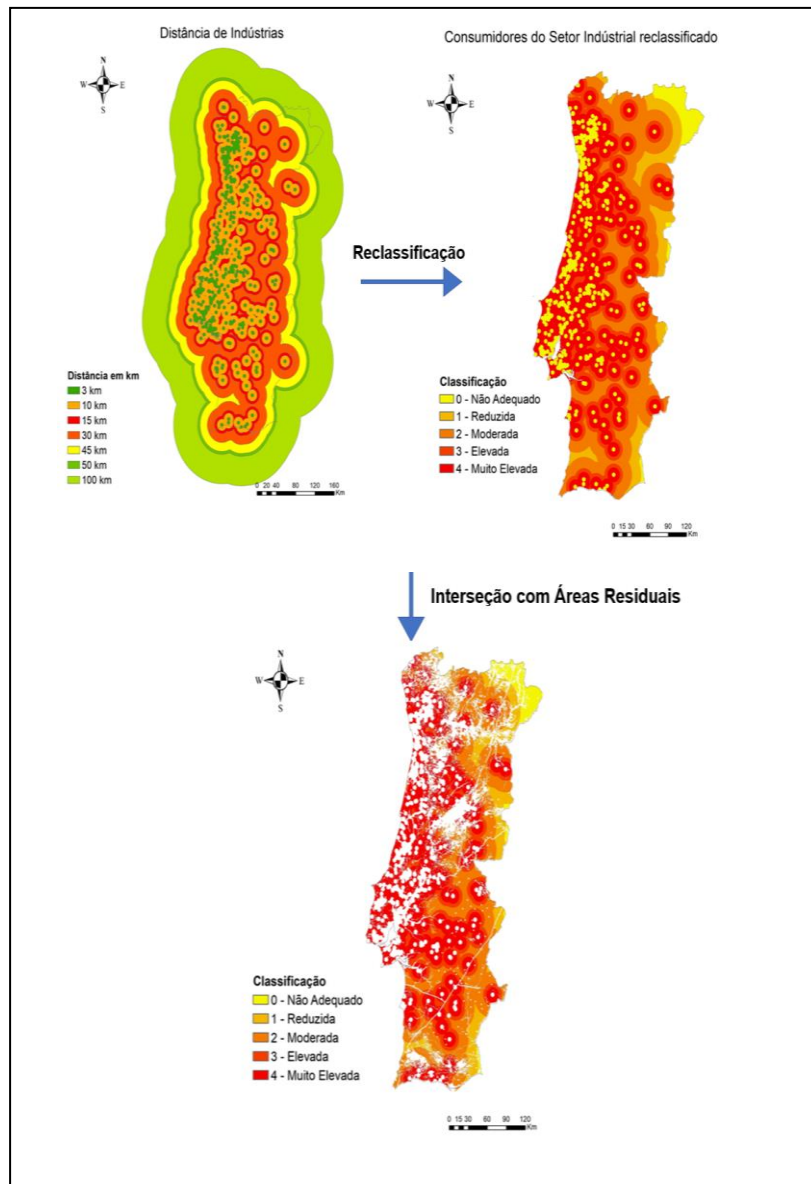


Figura 4.4.3 - Metodologia aplicada ao parâmetro potenciais consumidores industriais

Áreas Classificadas

Para as áreas classificadas, foram seguidos os seguintes passos metodológicos:

- Passo 1 – Identificação de áreas classificadas;
- Passo 2 – Reclassificação do mapa;
- Passo 3 – Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais.

Passo 1 – Identificação de áreas classificadas

De forma a identificar as áreas classificadas, foi tido por base os dados obtidos a partir da APA tal como se pode observar no primeiro mapa da Figura 4.4.4.

Passo 2 – Reclassificação do mapa

A este parâmetro foram unidas as duas áreas classificadas e posteriormente foi feita uma reclassificação do mesmo onde as áreas que não pertençam a uma área classificada são classificadas como adequabilidade muito elevada. Caso contrário, essas áreas seriam classificadas como não adequadas.

Passo 3 – Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais

Ao mapa reclassificado este foi intersetado com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12), resultando assim no mapa final da Figura 4.4.4.

Todo este processo pode ser analisado na Figura 4.4.4:

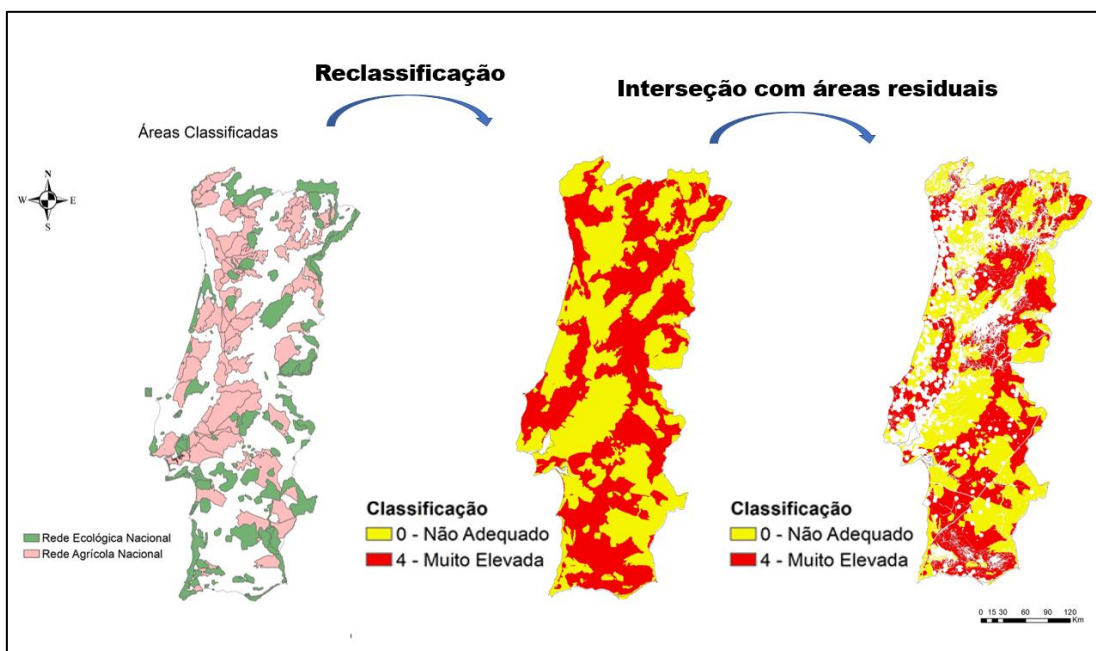


Figura 4.4.4 - Processo metodológico aplicado ao parâmetro áreas classificadas

4.4.2 Critérios Técnicos

Este grupo de parâmetros, tem por objetivo agregar parâmetros que estejam correlacionados com as características técnicas de um determinado local, que possam tanto influenciar o seu rendimento, bem como possam influenciar nos custos de instalação e de operação e de manutenção. Como tal, dada esta perspectiva é possível enumerar os seguintes parâmetros

- **Rede de transporte de energia**
- **Estradas e Acessos**

Rede de transporte de energia

Tal como referido no Capítulo 3.2.3, a rede de transporte de energia vai influenciar na quantidade de energia perdida em perdas por Joule, sendo que quanto maior for a distância que a CSFV esteja à rede maior são as perdas. Assim, para a avaliação da distância da CSFC à rede de transporte de energia foram seguidos os seguintes passos metodológicos, que se descrevem em seguida:

- Passo 1 – Seleção da rede de baixa e média tensão;
- Passo 2 – Cálculo de menores distâncias à rede de transporte de energia;
- Passo 3 - Reclassificação do mapa da distância à rede de transporte de energia e interseção do mapa com as áreas residuais.

Passo 1 – Seleção das redes de baixa e média tensão

O primeiro passo metodológico consistiu na seleção das redes de baixa e média tensão, tal como se apresenta na Figura 4.4.5.

Na Figura 4.4.5, da rede de transporte de energia foram agora seleccionadas as redes que possuíam a classificação de baixa tensão (150 KV) e de média tensão (220 KV). A rede de alta tensão (440 kV) não foi incluída, visto que seria necessário o investidor adquirir um tipo de transformador que poderá inviabilizar o investimento de uma CSFV.

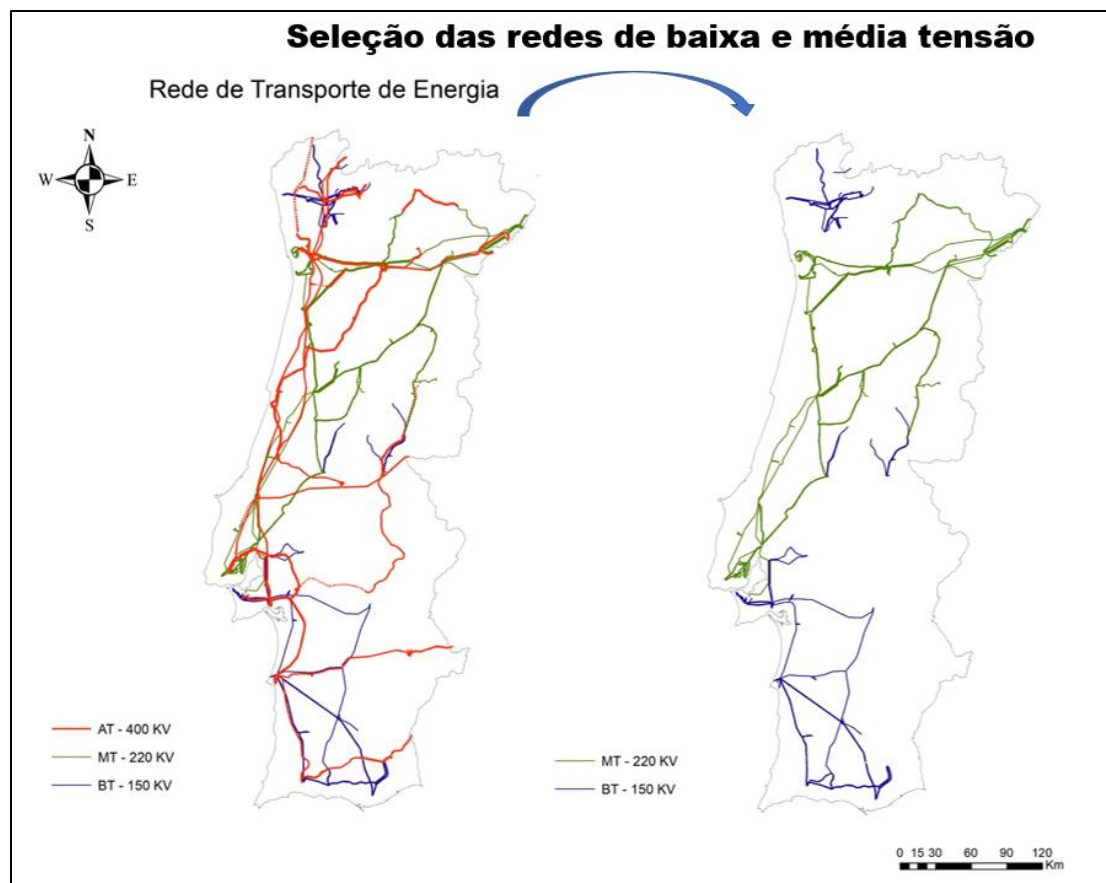


Figura 4.4.5 - Seleção das linhas de baixa e média tensão

Passo 2 – Cálculo de menores distâncias à rede de transporte de energia

De forma a ser calculada a menor distância à rede de transporte de energia, foi aplicada a função *cost distance* implementada no ARCGIS, que calcula a menor distância de um determinado ponto no espaço, à rede de transporte de energia tal como referido no capítulo 3.2.3.

Passo 3 – Reclassificação do mapa da distância à rede de transporte de energia e interseção com as áreas residuais

Após a construção deste mapa, como é possível observar-se na Figura 4.4.6, foi possível reclassificar este parâmetro tendo por base a classificação sugerida por (Noorollahi et al., 2016). De seguida foi intersetado este mapa reclassificado com as áreas residuais (Figura 4.3.12). Todo este processo metodológico pode ser analisado na Figura 4.4.6.

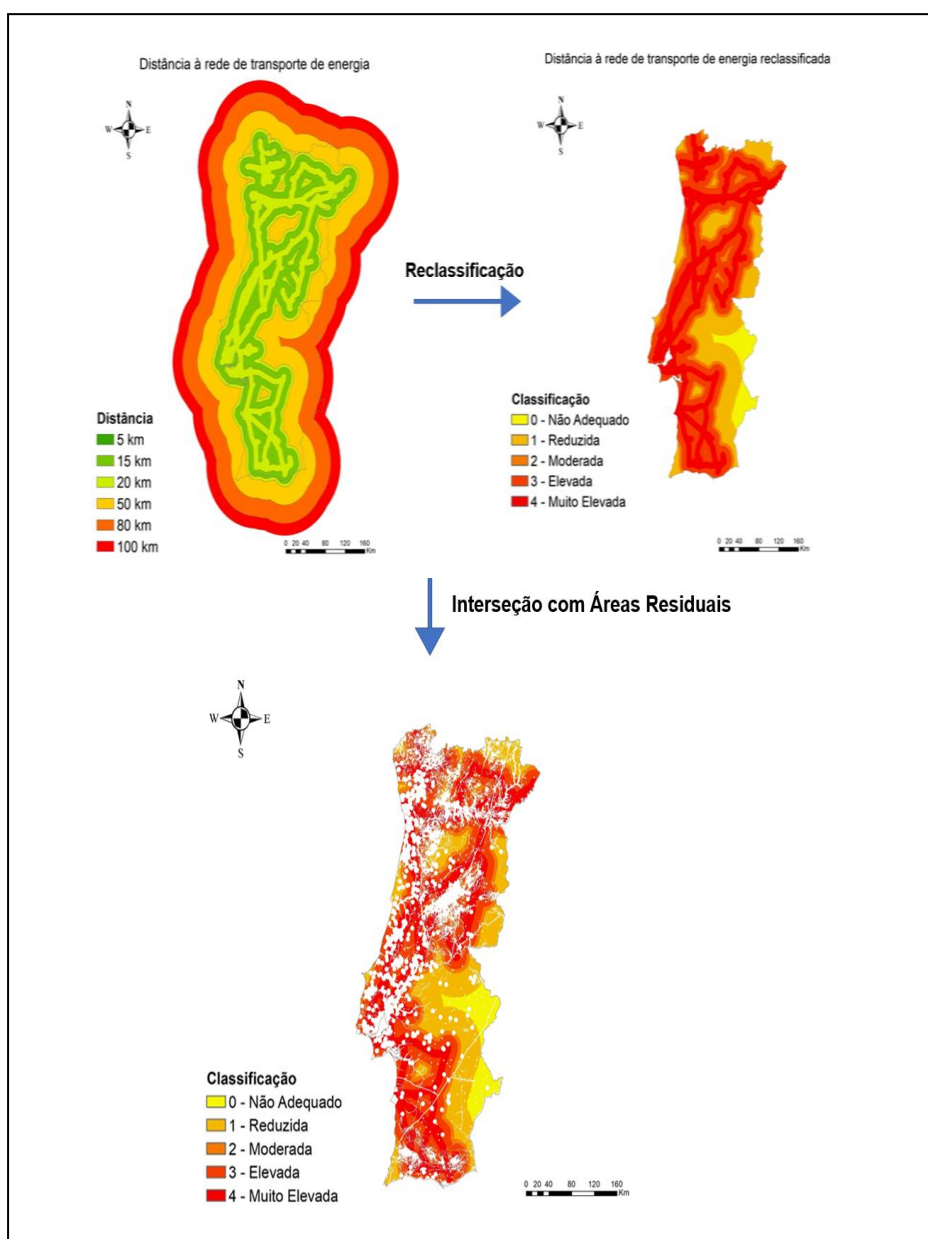


Figura 4.4.6 - Metodologia SIG aplicada à rede de transporte de energia

Rede Viária

Como já foi referido anteriormente, de forma a avaliar o parâmetro da distância à rede viária recorreu-se à plataforma Estradas de Portugal que se encontra apresentada na Figura 4.4.7.

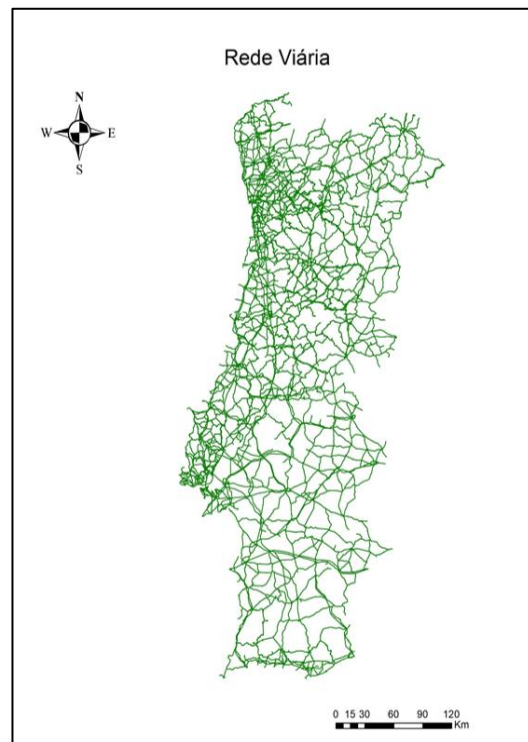


Figura 4.4.7 - Rede Viária de Portugal Continental

Seguindo um processo homólogo ao do parâmetro anterior, foi igualmente aplicada a função *cost distance* à rede viária que permitiu calcular as menores distâncias a que um determinado ponto se encontra desta. Após a realização do mapa de distâncias a estradas, foi realizada uma reclassificação das distâncias em cinco classes, tal como sugerido por (Doorga et al., 2019). De seguida foi intersetado este mapa reclassificado com as áreas residuais (Figura 4.3.12). Na Figura 4.4.8 apresenta-se os resultados da metodologia descrita:

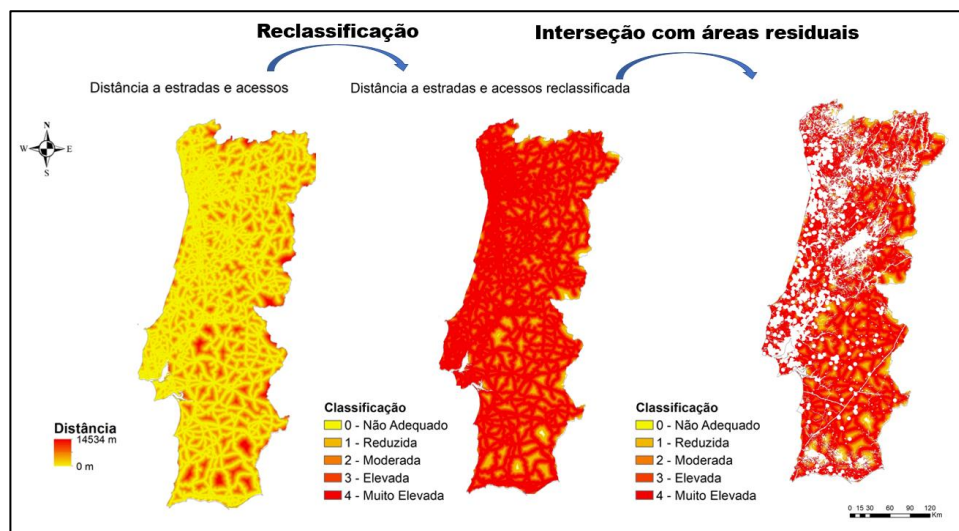


Figura 4.4.8 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro estradas e acessos

4.4.3 Critérios Naturais

Para este grupo de critérios, foram agregados parâmetros que estejam interligados com as características naturais de um determinado local, ou seja, parâmetros da ordem natural que possam influenciar a performance dos módulos FV. Como tal, dentro deste grupo de critérios foram agregados os seguintes parâmetros

- Irradiação solar
- Exposição solar
- Temperatura do ar
- Altimetria e Topografia
- Disponibilidade de água
- Humidade Relativa

Irradiação Solar

Tal como descrito no capítulo 3.2.3, para avaliação da irradiação solar foram considerados os valores de irradiação solar estimados Etapa 1 – Mapa inicial (Figura 4.2.5), e reclassificados em 5 classes tal como sugerido por (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Mezrhah, Mezrhah, & Ghennioui, 2018), apresentada na Tabela 3.2.12. Posteriormente foi intersetado este mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12) tal como se pode observar na Figura 4.4.9.

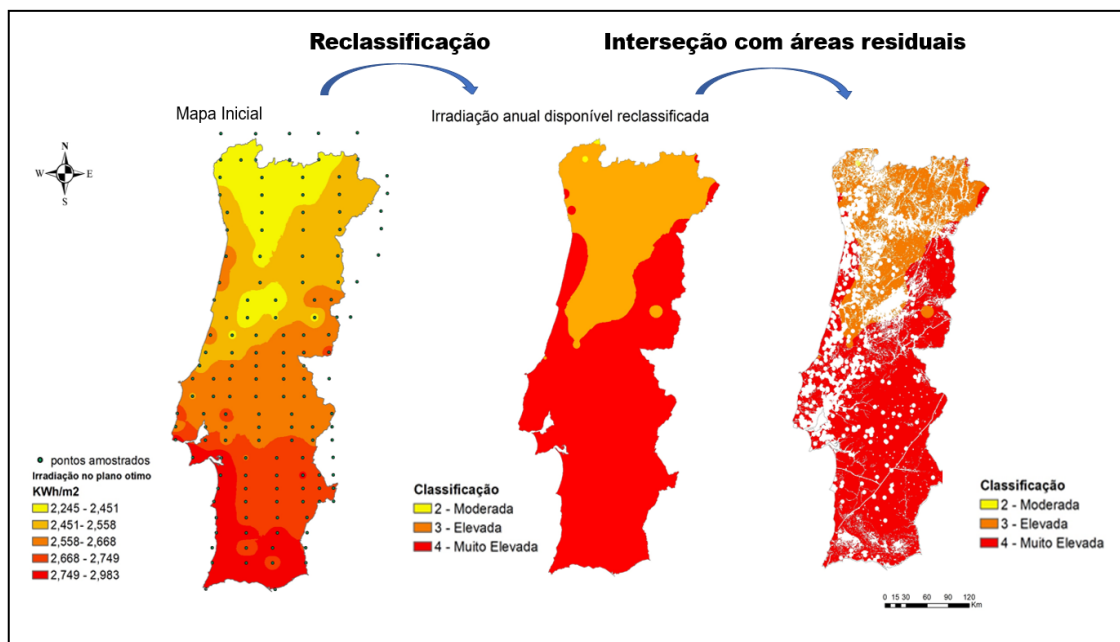


Figura 4.4.9 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro irradiação solar

Exposição Solar

A avaliação do número de horas de sol anuais efetivas em Portugal Continental teve por base o mapa de exposição solar anual do ano de 2012 disponível em formato não editável na plataforma do IPMA. Para a obtenção de dados editáveis sobre a exposição solar foram seguidos os seguintes três passos metodológicos:

- Passo 1 – Georreferenciação do mapa de exposição solar do IPMA, em ambiente SIG;
- Passo 2 – Vectorização das áreas de classe de exposição solar, definidas pelo IPMA (sete classes);
- Passo 3 – Reclassificação dos dados de exposição solar e interseção do mapa obtido com as áreas residuais.

Passo 1 – Georreferenciação do mapa de exposição solar do IPMA, em ambiente SIG;

De forma a introduzir o mapa disponível na plataforma do IPMA para o software *ArcGIS*, foi necessário georreferenciar o mapa utilizando o sistema de coordenadas ETRS89.

Passo 2 – Vectorização das áreas de classe de exposição solar, definidas pelo IPMA (sete classes)

Após a georreferenciação básica do mapa do IPMA foi necessário vetorizar o mapa nas seguintes sete classes tal como se observar no primeiro mapa da Figura 4.4.10:

- 2200 horas de sol anuais;
- 2400 horas de sol anuais;
- 2550 horas de sol anuais;
- 2700 horas de sol anuais;
- 2850 horas de sol anuais;
- 2950 horas de sol anuais;
- 3000 horas de sol anuais;

Passo 3 – Reclassificação dos dados de exposição solar e interseção do mapa obtido com as áreas residuais.

Após a vectorização do mapa da exposição solar no software *ArcG/S*, no segundo mapa da Figura 4.4.10, foi reclassificado o primeiro mapa em cinco classes tendo em conta a classificação sugerida por (Doorga et al., 2019). De seguida foi intersetado este mapa reclassificado com o mapa das áreas residuais (Figura 4.3.12).

Na Figura 4.4.10.apresenta-se o mapa final obtido bem como os resultados dos passos metodológicos acima descritos.

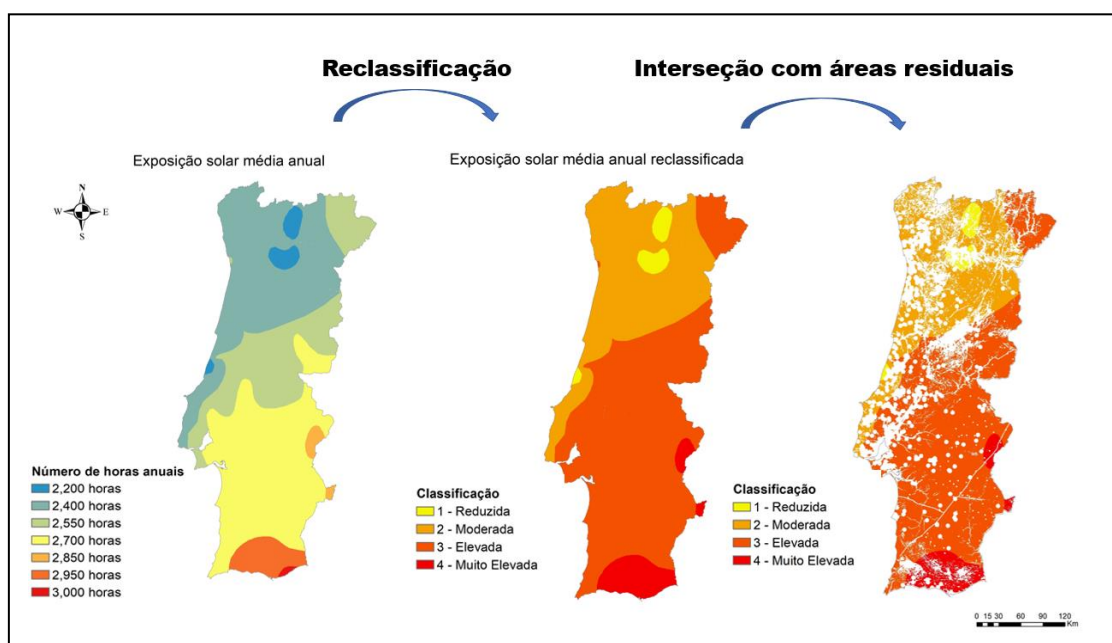


Figura 4.4.10 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro exposição solar

Temperatura média diária

A temperatura média diária anual foi obtida com base nos valores de temperatura média diária disponíveis na plataforma PVGIS. Para a implementação deste parâmetro foram seguidos os seguintes três passos metodológicos

- Passo 1 – Tratamento de dados;
- Passo 2 – Estimação geoestatística dos valores de temperatura média diária;
- Passo 3 – Reclassificação do mapa e Interseção do mapa com as áreas residuais.

Passo 1 – Tratamento de dados

Para a estimação geoestatística dos valores de temperatura média diária para Portugal Continental, como foi abordado no Capítulo 4.2 foi definida uma malha sistemática de 144 pontos (Figura 4.2.2) e a cada coordenada foi atribuído um valor de temperatura média local anual, calculada com base nos valores de temperatura média diária disponíveis na **plataforma PVGIS**.

Passo 2 – Estimação geoestatística dos valores de temperatura média diária

O método de estimação geoestatística utilizado para a obtenção do primeiro mapa da Figura 4.4.12, foi o método da krigagem simples cujos resultados de validação cruzada se apresentam no diagrama da Figura 4.4.11.

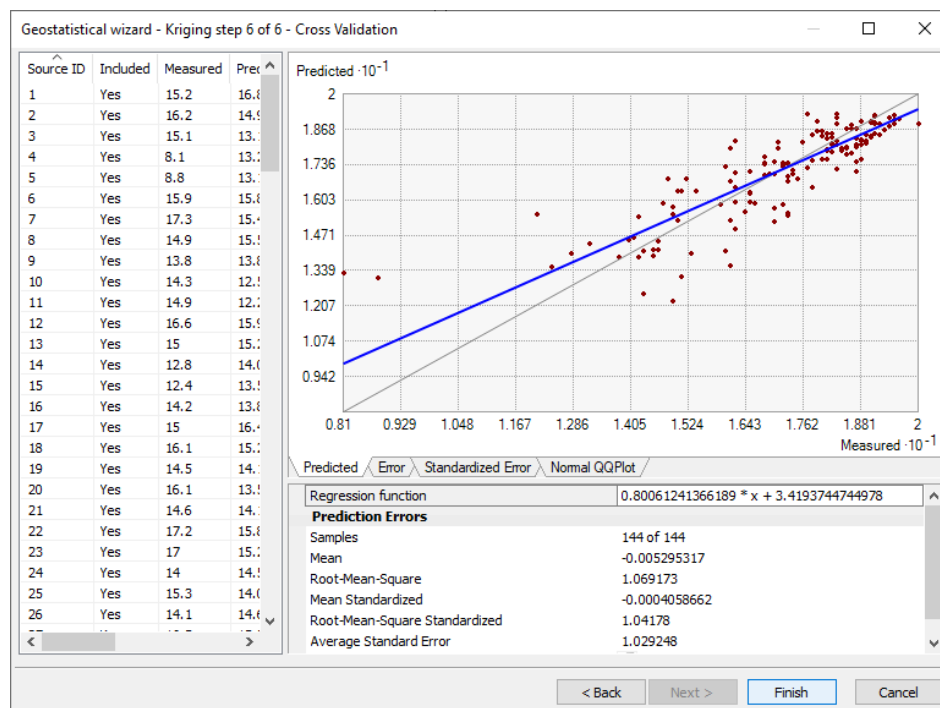


Figura 4.4.11 - Validação cruzada aplicada à krigagem feita para a temperatura média diária

Como se pode observar no gráfico da Figura 4.4.11, o erro médio calculado é um valor muito próximo de zero e a medida de dispersão da nuvem de valores reais vs valores estimados, aproxima-se da unidade (erro médio quadrático de 1). Dado o observado, é possível validar-se este tipo de krigagem para a estimação da temperatura por Portugal Continental.

O primeiro mapa da Figura 4.4.12 apresenta o mapa de aptidão de temperatura de Portugal Continental, que resulta da estimação da temperatura média diária.

Passo 3 – Reclassificação do mapa e Interseção do mapa com as áreas residuais

Após a construção deste mapa, como é possível observar-se na Figura 4.4.12, foi possível reclassificar este parâmetro tendo por base a classificação sugerida por (Doorga et al., 2019) presente na Tabela 3.2.7. De seguida foi intersetado este mapa reclassificado com as áreas residuais (Figura 4.3.12). Todo este processo metodológico pode ser analisado na Figura 4.4.12.

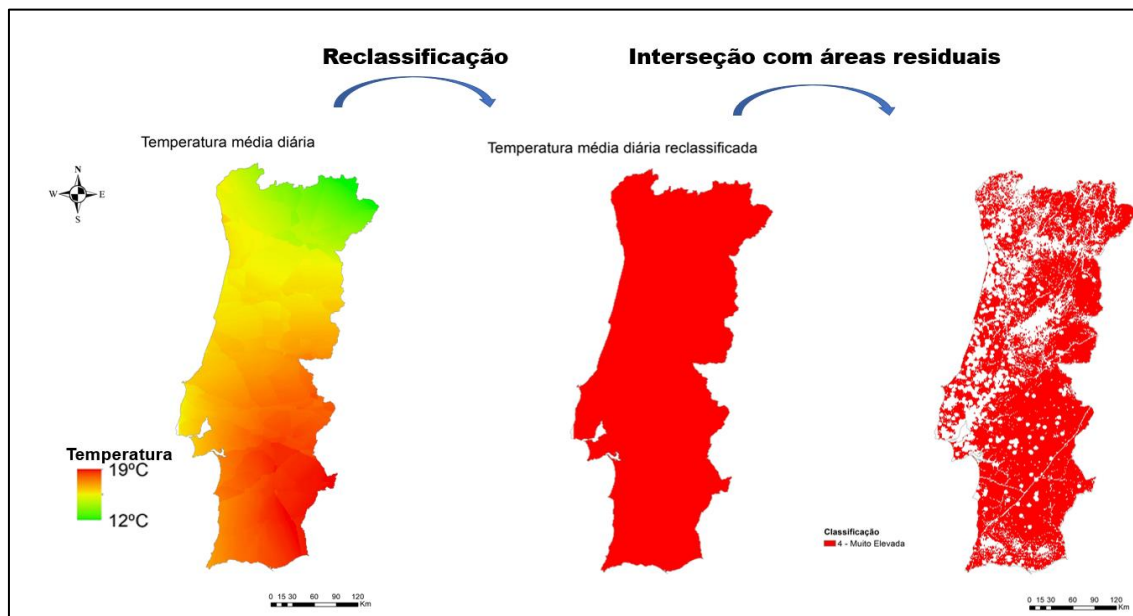


Figura 4.4.12 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro temperatura média diária

Disponibilidade de água

Para a avaliação da disponibilidade de água foi utilizado o mapa da hidrologia (Figura 4.3.4) apresentado no Capítulo 4.3.2, sendo que o mesmo foi analisado segundo duas perspetivas:

- (i) Perspetiva ambiental;
- (ii) Perspetiva técnica.

De forma a avaliar o parâmetro da disponibilidade de água, foram seguidos os seguintes cinco passos metodológicos:

- Passo 1 – Aplicação do algoritmo *cost distance* ao mapa da hidrologia
- Passo 2 – Reclassificação do mapa de hidrologia segundo a perspetiva ambiental
- Passo 3 – Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais
- Passo 4 – Reclassificação do mapa segundo a perspetiva técnica
- Passo 5 – Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais

Numa perspetiva de análise ambiental, o mapa da hidrologia, foi reclassificado segundo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), tendo por base o afastamento de uma CSFV a corpos de água, tal como ilustrado na Figura 4.4.13.

Passo 1 – Aplicação do algoritmo *cost distance* ao mapa da hidrologia

Partindo do mapa da hidrologia, foi aplicada a função *cost distance* de forma a criar uma matriz de distâncias para a instalação de uma CSFV a um corpo de água.

Passo 2 – Reclassificação do mapa de hidrologia segundo a perspetiva ambiental

Numa perspetiva de análise ambiental, o mapa da hidrologia, foi reclassificado segundo (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), tendo por base o afastamento de uma CSFV a corpos de água, tal como ilustrado na Figura 4.4.13.

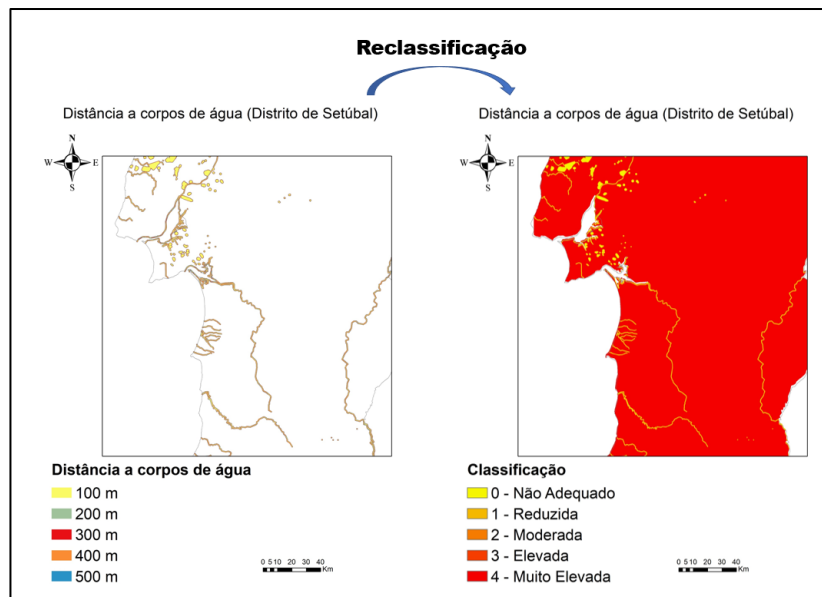


Figura 4.4.13 - Reclassificação da distância a corpos de água numa perspetiva ambiental

Passo 3 - Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais

Após o cálculo da distância da CSFV a corpos de água, o mapa da disponibilidade de água resultante foi intersetado com as áreas residuais resultando no mapa final de disponibilidade de água tal como se apresenta na Figura 4.4.14.

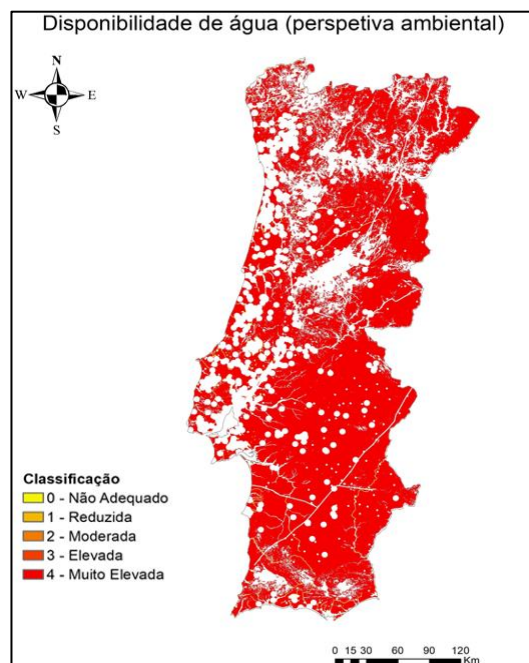


Figura 4.4.14 - Mapa final para o parâmetro disponibilidade de água sob uma perspetiva ambiental

Passo 4 – Reclassificação do mapa segundo a perspectiva técnica

Numa **perspetiva técnica**, pretende-se que os corpos de água estejam o mais próximo possível **da CSFV**, com vista a minimizar os custos associados à refrigeração e limpeza das células FV.

Assim, para o zonamento das áreas de maior proximidade aos corpos de água, foi criado em ambiente SIG o mapa de distancia aos corpos de água e reclassificado em classes de aptidão, tal como sugerido por (Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018). Na Figura 4.4.15 apresenta-se, a título ilustrativo, uma parcela do território nacional avaliada e classificada em classes de aptidão, conforme supra descrito

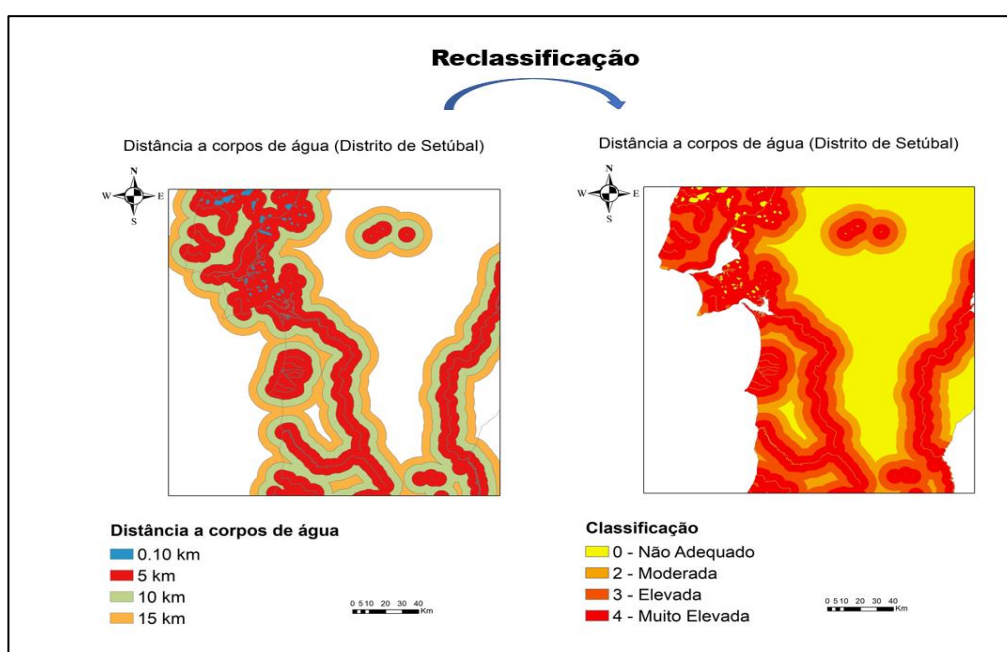


Figura 4.4.15 - Reclassificação da distância a corpos de água numa perspetiva técnica

Passo 5 – Interseção do mapa reclassificado com as áreas residuais

O mapa final de adequabilidade de disponibilidade hídrica, segundo uma perspectiva técnica, resulta da interseção das classe de adequabilidade com as áreas residuais, cujo resultado se apresenta na Figura 4.4.16.

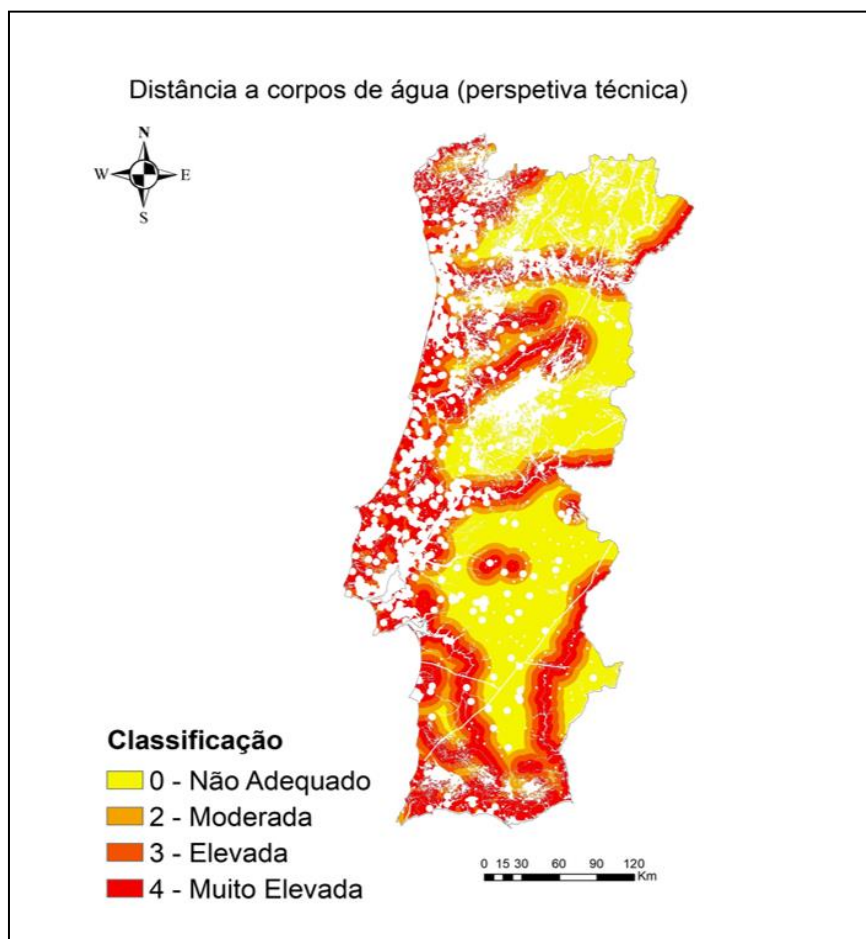


Figura 4.4.16 - Mapa final para o parâmetro disponibilidade de água sob uma perspectiva técnica

Humidade Relativa

De forma a ser avaliada a adequabilidade tendo em conta a humidade relativa foram seguidos os seguintes três passos metodológicos:

- Passo 1 – Aquisição de dados na plataforma SNIRH;
- Passo 2 – Estimação geoestatística dos valores da humidade relativa;
- Passo 3 – Reclassificação do mapa de valores da humidade relativa e sua respetiva interseção com as áreas residuais.

Passo 1 – Aquisição de dados na plataforma SNIRH

Os dados da humidade relativa foram obtidos na plataforma do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH, 2019).

Passo 2 – Estimação geoestatística dos valores da humidade relativa

De forma análoga ao realizado para a estimação dos mapas de irradiação solar e de temperatura, foi estimado o mapa de humidade relativa com base no método da krigagem simples.

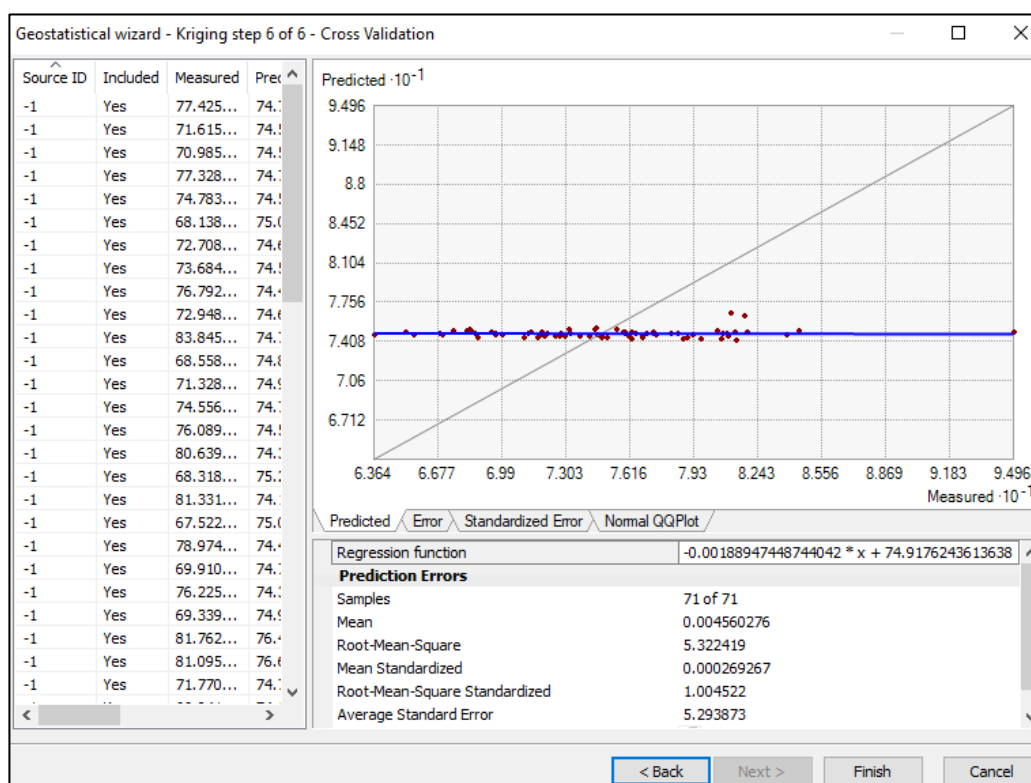


Figura 4.4.17 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicada à humidade do ar relativa

Pela Figura 4.4.17, é possível constatar-se que para além da linha de tendência ser horizontal, o erro médio standerizado é de 5.29, uma vez que não foi possível recolher mais pontos de amostragem, bem como estas estações meteorológicas **foram todas medidas nas imediações de barragens** pelo que esses factos se refletiram no erro estimado desta krigagem. Dado não existirem mais dados para este parâmetro, foi feita a estimação da krigagem, mesmo sabendo que foi provocado algum efeito de distorção, dado que tanto como no cenário ambiental como no cenário técnico, este é um parâmetro de baixo peso, pelo que a distorção provocada não será significativa.

Passo 3 – Reclassificação do mapa de valores da humidade relativa e sua respetiva interseção com as áreas residuais

Como se pode observar na Figura 4.4.18 após a krigagem, este parâmetro foi reclassificado tendo em conta a reclassificação sugerida por (Noorollahi et al., 2016) e intersectado com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12).

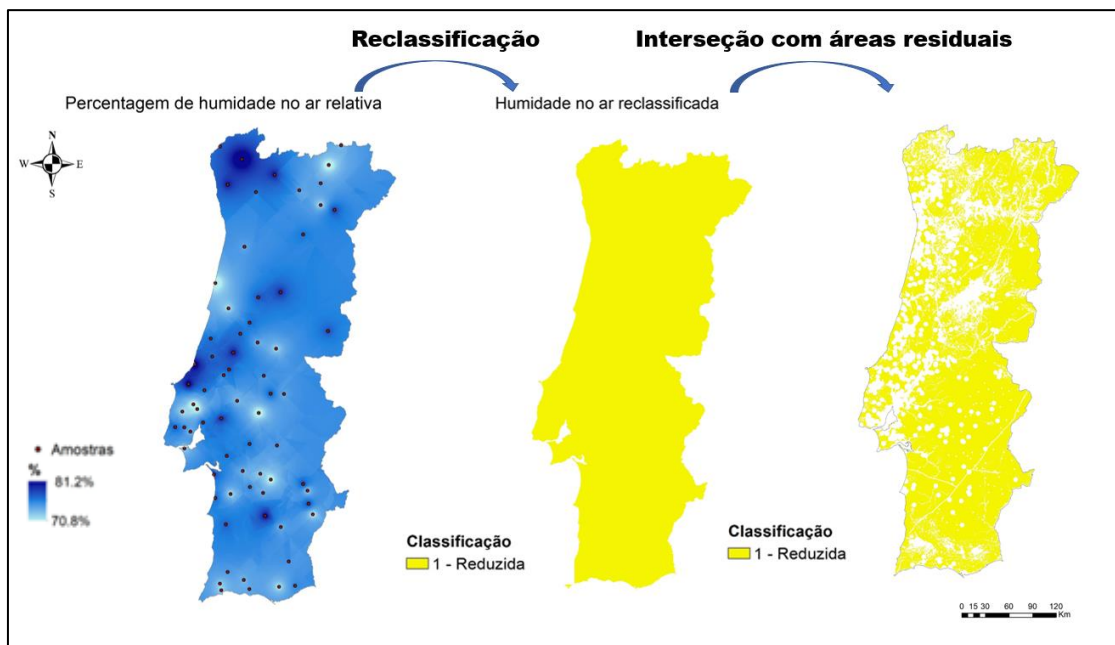


Figura 4.4.18 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro humidade do ar relativa

Altimetria e Topografia

Quanto a este parâmetro, foi necessário subdividir este em três subgrupos:

- **Declive;**
- **Atitude;**
- **Orientação.**

Como se pode observar na Figura 4.4.19, para estes três subgrupos foi reaproveitado os dados recolhidos da Figura 4.3.8, sendo que de forma análoga para os três subgrupos foram seguidos os seguintes 2 passos metodológicos:

- Passo 1 – Reclassificação dos mapas segundo a classificação sugerida por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019);
- Passo 2 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais.

Passo 1 – Reclassificação dos mapas segundo a classificação sugerida por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019):

A reclassificação destes mapas teve por base a classificação sugerida por (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), tal como foi abordado no capítulo 3.2.3 nas seguintes tabelas: Tabela 3.2.8, Tabela 3.2.9 e Tabela 3.2.10.

Passo 2 – Interseção do mapa reclassificado com o mapa de áreas residuais

A interseção destes mapas reclassificados foi feita com o mapa de áreas residuais (Figura 4.3.12), resultando assim nos mapas finais deste grupo de parâmetros. Estes passos metodológicos podem ser observados nas seguintes figuras: Figura 4.4.19, Figura 4.4.20 e Figura 4.4.21.

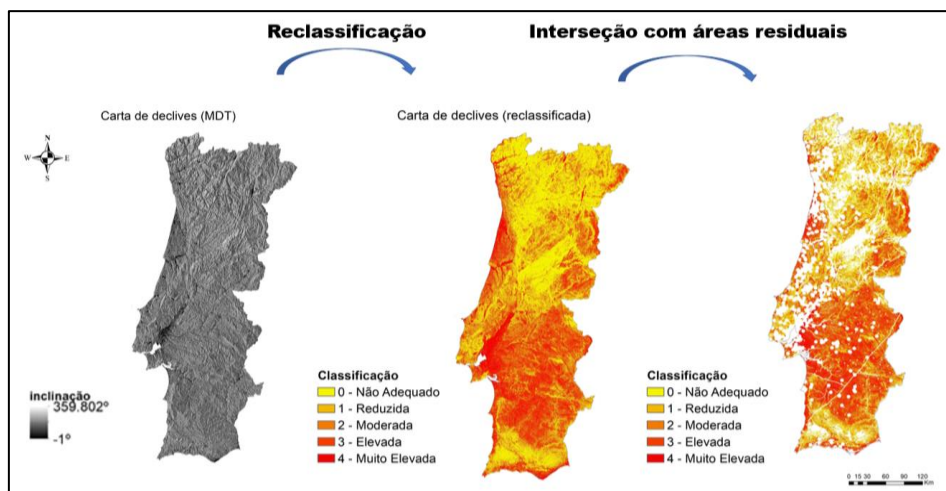


Figura 4.4.19 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro declive

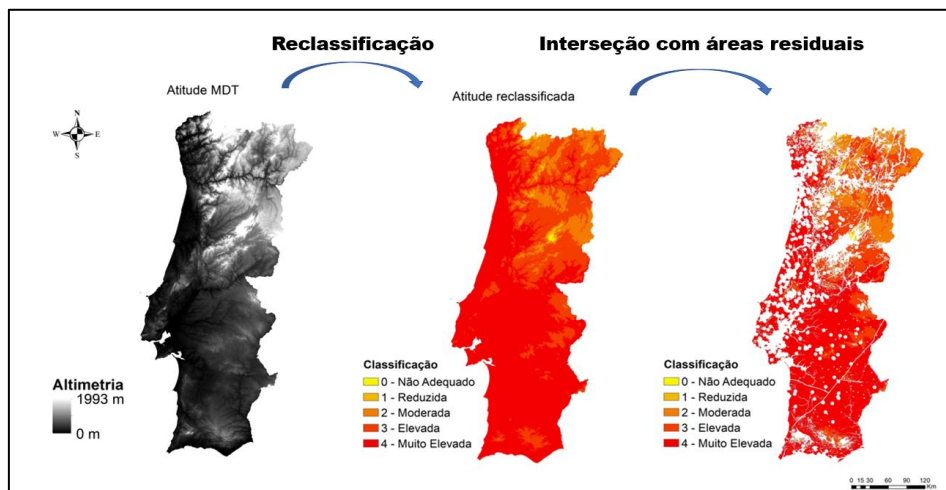


Figura 4.4.20 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro atitude

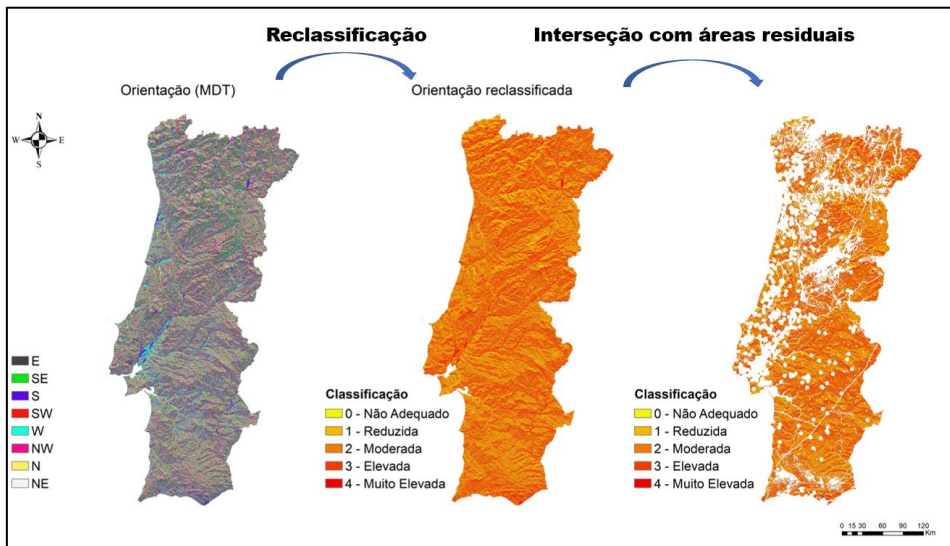


Figura 4.4.21 - Metodologia SIG aplicada ao parâmetro orientação

4.4.4 Parametrização dos critérios

Como síntese da metodologia descrita no Capítulo 3.2.3, apresentam-se, em anexo os parâmetros de adequabilidade classificados de acordo com os critérios definidos (Tabela Anexo 1 e Tabela Anexo 2) para aplicação ao modelo de avaliação apresentado na equação (28).

O peso atribuído a cada parâmetro do modelo, resultou de uma análise sensibilidade realizada com base nos pesos propostos por diversos autores tal como apresentado na Tabela Anexo 3 Tabela Anexo 4. Ao analisar as tabelas anteriores, foi possível construir uma hierarquização de prioridades relativamente à importância que estes têm para uma CSFV, apresentadas na Tabela Anexo 5 e Tabela Anexo 6.

Seguindo a metodologia abordada no Capítulo 3.3.3 e os pesos propostos por diversos autores, foram construídos os diagramas de Saaty para cada cenário abordado neste modelo:

- Cenário técnico;
- Cenário ambiental;
- Cenário de pesos iguais.

Para o caso do cenário de pesos iguais, o diagrama de Saaty será uma matriz onde todas as colunas e linhas possuirão o número um, dado que todos os parâmetros possuem a mesma importância. Para os restantes cenários, os diagramas de Saaty foram construídos a partir de uma análise de sensibilidades com base nos pesos propostos por diversos autores abordados anteriormente, sendo que o resultado dessa análise encontra-se na Tabela 4.4.2 (cenário técnico) e na Tabela 4.4.3 (cenário ambiental).

Tabela 4.4.1 - Legenda com a simbologia aplicada na análise de parâmetros*Legenda* *Parâmetros*

<i>A</i>	Potenciais consumidores
<i>B</i>	Uso do solo
<i>C</i>	Distância à Rede de Transporte de Energia
<i>D</i>	Distância a Estradas e Acessos
<i>E</i>	PR
<i>F</i>	Indicadores Económicos
<i>G</i>	Temperatura no Ar
<i>H</i>	Declive
<i>I</i>	Orientação
<i>J</i>	Atitude
<i>L</i>	Disponibilidade de água
<i>M</i>	Irradiação Solar
<i>N</i>	Exposição Solar
<i>O</i>	Humidade Relativa

Tabela 4.4.2 - Diagrama de Saaty aplicado a um cenário técnico

	<i>M</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>H</i>	<i>N</i>	<i>I</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>G</i>	<i>J</i>	<i>O</i>
<i>M</i>	1	3	4	4	5	5	7	7	8	9	9	9
<i>C</i>	0,3333	1	2	2	3	3	5	5	5	9	9	9
<i>B</i>	0,25	0,5	1	2	2	3	4	4	5	7	7	7
<i>A</i>	0,25	0,5	0,5	1	2	2	3	3	4	5	5	5
<i>H</i>	0,2	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	2	3	4	5	5
<i>N</i>	0,2	0,3333	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	2	4	4	5
<i>I</i>	0,1429	0,2	0,25	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	3	5	5
<i>D</i>	0,1429	0,2	0,25	0,3333	0,5	0,5	0,5	1	2	3	4	5
<i>L</i>	0,125	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,5	0,5	0,5	1	2	3	3
<i>G</i>	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,3333	0,5	1	2	2
<i>J</i>	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,5	1	2
<i>O</i>	0,1111	0,1111	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3333	0,5	0,5	1

Tabela 4.4.3 -Diagrama de Saaty aplicado a um cenário ambiental

	M	B	D	J	L	H	A	C	N	I	G	O
M	1	2	3	3	4	5	6	6	7	8	9	9
B	0,5	1	2	2	3	4	6	6	7	8	8	9
D	0,3333	0,5	1	2	2	2	3	3	4	6	6	6
J	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	3	3	3	4	4	4
L	0,25	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	2	2	3	4	4
H	0,2	0,3333	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	2	3	3	4
A	0,1667	0,2	0,25	0,3333	0,5	0,5	1	2	2	2	4	4
C	0,1667	0,2	0,25	0,3333	0,5	0,5	0,5	1	2	2	3	3
N	0,1429	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,5	0,5	0,5	1	2	2	2
I	0,125	0,1111	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,3333	0,5	1	2	2
G	0,1111	0,125	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3333	0,5	1	2
O	0,1111	0,125	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3333	0,5	0,5	1

Dado estas observações e face os diferentes cenários, foi possível atribuir-se a seguinte parametrização, tal como se pode observar na Tabela 4.4.4.

Tabela 4.4.4 - Distribuição de pesos atribuídos para este modelo consoante cada cenário

Cenários	Técnico	Ambiental	Pesos iguais
	(%)	(%)	(%)
<i>Irradiação Solar</i>	60	30	8,33
<i>Rede de Transporte</i>	10	3	8,33
<i>Áreas Classificadas</i>	7	26	8,33
<i>Potenciais consumidores</i>	6	5	8,33
<i>Declive</i>	4	2	8,33
<i>Exposição solar</i>	3	1	8,33
<i>Orientação</i>	3	2	8,33
<i>Estradas</i>	2	14	8,33
<i>Disponibilidade de água</i>	2	6	8,33
<i>Temperatura do ar</i>	1	1	8,33
<i>Atitude</i>	1	10	8,33
<i>Humidade Relativa</i>	1	1	8,33

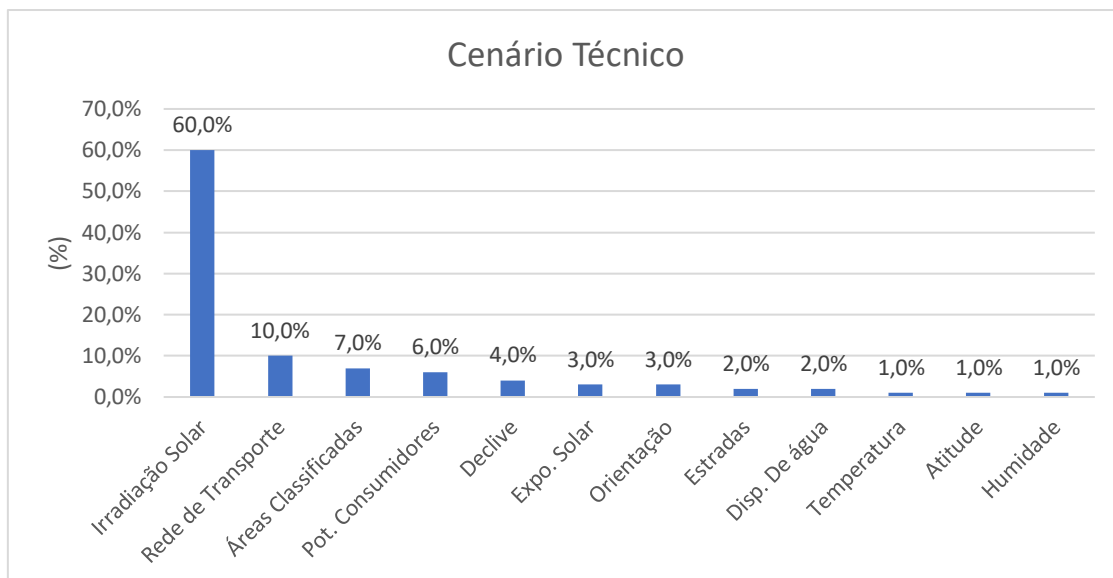


Figura 4.4.22 - Análise Hierárquica dos parâmetros de ponderação numa perspectiva técnica

Ao analisar-se Figura 4.4.22, constata-se que numa perspectiva técnica, o principal parâmetro a ser analisado corresponde ao parâmetro que mais se interliga à exploração do recurso solar (**irradiação solar**). De seguida a prioridade de escolha para a instalação de uma CSFV, consiste em reduzir o principal fator de perdas por Joule significativas. Uma das principais perdas reside na **distância da CSFV à rede de transporte de energia**, logo numa perspectiva de análise hierárquica deve ser este, o parâmetro a ser tido em conta.

Posteriormente, é necessário analisar-se qual **o uso atribuído ao solo**, uma vez que este é um fator que dita não só os custos do terreno, mas também é um fator que se encontra interligado a áreas classificadas, pelo que este parâmetro pode influenciar a necessidade de estudos de impacto ambientais que impliquem custos acrescidos, associados à mitigação de impactes ambientais decorrentes da exploração do recurso solar. Após ser tido em conta o uso do solo, é agora necessário ter-se em conta a **densidade de potenciais consumidores diretos** que possam beneficiar deste tipo de projetos, levando assim a uma maior valorização e utilidade do projeto. De seguida, é necessário ter em atenção a **morfologia do terreno**, com maior foco no **declive do terreno**, pois quanto mais plana for a área de exploração menores serão os custos de instalação e infraestruturas. **A exposição solar** é também um parâmetro a ser tido em conta com alguma relativa importância, uma vez que este, é um parâmetro que é consequente da meteorologia local, que por sua vez pode influenciar o tipo de irradiação incidente. De seguida é necessário ter em conta a distância a estradas, bem como a orientação da morfologia do terreno, uma vez que estes são fatores que podem reduzir com alguma significância os custos de instalação, bem como os custos de operação e manutenção.

Finalmente será necessário ter em conta os parâmetros relacionados com o clima (temperatura e humidade relativa), uma vez que estes apesar da sua importância não causam perdas tão significativas quando comparados com os restantes parâmetros.

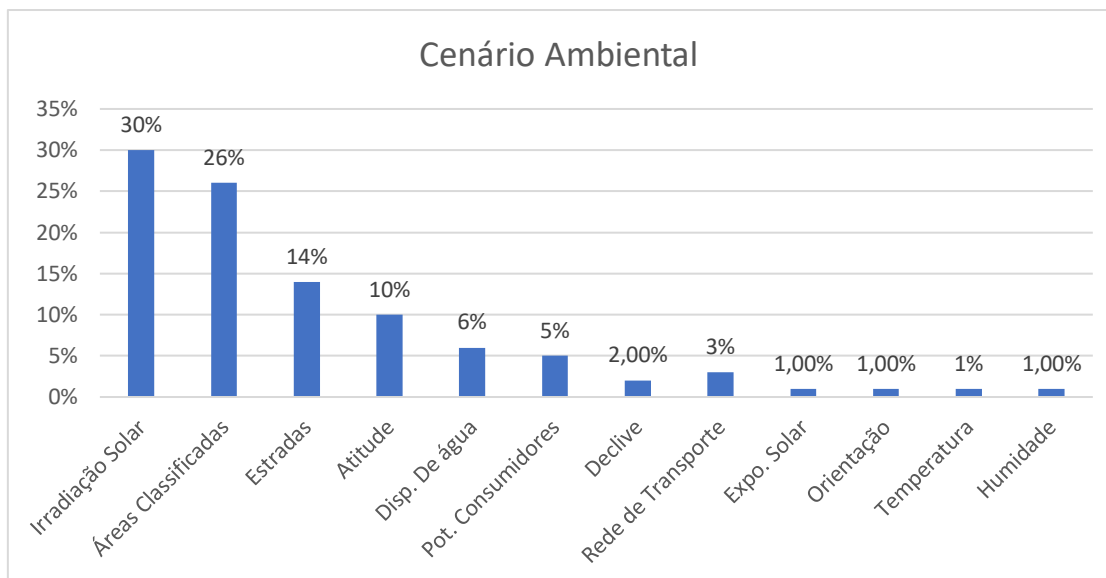


Figura 4.4.23 - Análise Hierárquica dos parâmetros de ponderação numa perspetiva ambiental

Como se pode observar na Figura 4.4.23, em semelhança ao cenário anterior, numa perspetiva ambiental o parâmetro considerado de maior importância consiste na avaliação da distribuição de **irradiação solar**, de forma a ser exponenciada a exploração deste recurso renovável. Porém quando analisada a análise hierárquica nesta perspetiva, a mesma diferencia-se da anterior pelo facto de a prioridade dada consistir **na influência negativa que este tipo de projetos poderá ter no ambiente**, pelo que é considerado praticamente de igual importância o **uso do solo**, uma vez que este, encontra-se relacionado não só com o uso do solo agrícola, mas também como para o caso de Portugal Continental este parâmetro encontra-se também correlacionado com áreas classificadas como ambientalmente protegidas, pelo que é necessário analisar-se o tipo de uso de solo e ecossistema que se poderá afetar.

Após a análise do uso do solo é necessário ser tido em conta a **distância a estradas e acessos**, de forma a ser mitigada o efeito da construção e instalação de uma CSFV. Posteriormente dado o que já foi explorado anteriormente, de acordo com (Giamalaki & Tsoutsos, 2019), é bastante comum, a existência de espécies raras de flora e fauna em pontos de **elevada altitude** pelo que é um aspeto bastante importante a ser tido em conta. De seguida é necessário ter-se em conta a **distância a pontos de água** deste tipo de projetos à CSFV, de forma a evitar-se riscos de contaminação de aquíferos e outros corpos de água. Após a análise de parâmetros que possam significar impactos significativos no ambiente, deverá ser tido em conta a existência de **potenciais consumidores diretos** de forma a incentivar a sociedade a recorrer à exploração de recursos renováveis em detrimento de outras fontes de energia poluentes.

Por fim todos os restantes parâmetros correlacionados com a performance da CSFV, são listados como sendo de **menor importância e da responsabilidade do preponente**, pelo que neste cenário este tipo de parâmetros possuirá um fraco efeito na avaliação da adequabilidade da instalação de uma CSFV.

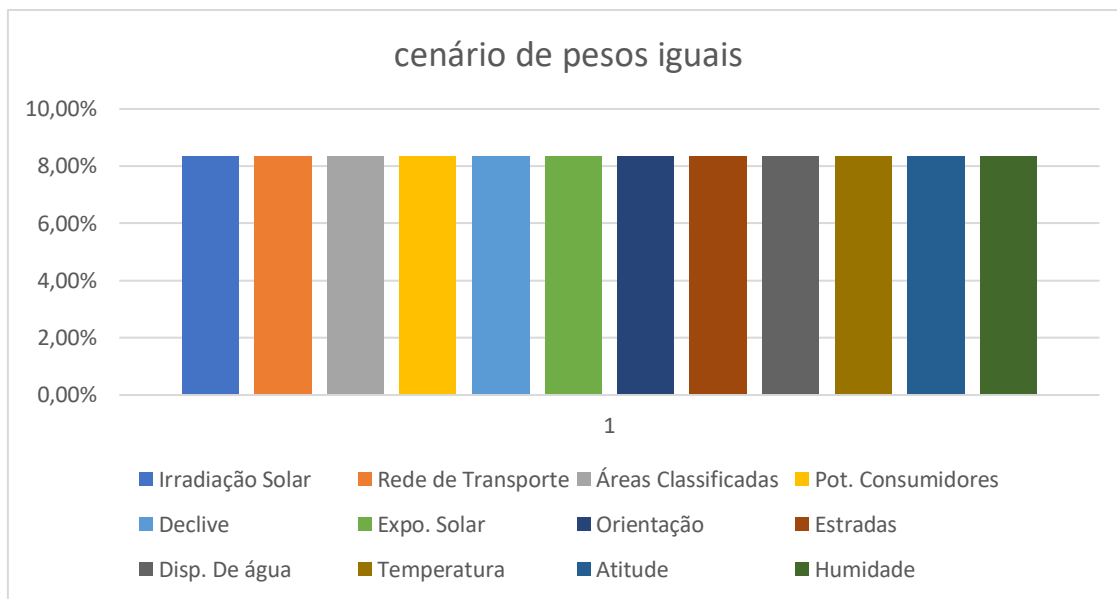


Figura 4.4.24 - Cenário de parâmetros com igual importância

O cenário de parâmetros de igual importância representado na Figura 4.4.24, tem como propósito uma **conciliação de pesos** na avaliação sobre todos parâmetros com o pretexto de não se sobrevalorizar uma perspectiva em detrimento de outra.

Porém neste cenário, existe o inconveniente de ocorrer uma possível distorção do cenário pretendido, uma vez que existem parâmetros que se tornam sobrevalorizados quando comparados com o fraco peso atribuído nos restantes cenários, no entanto este, é o cenário que melhor concilia a perspectiva técnica com a perspectiva ambiental.

4.4.5 Cartas de adequabilidade para cada respetivo cenário

Após a aplicação das classificações para cada respetivo parâmetro e a sua respetiva parametrização, foi possível proceder-se à parametrização para cada cenário que se pretende analisar.

Da Figura 4.4.25 encontra-se representado o resultado obtido para o cenário de pesos iguais. Partindo desta figura, constata-se que, para este cenário, que a classificação com mais peso neste mapa corresponde ao de **adequabilidade elevada** e de seguida a classificação de **adequabilidade moderada**. Este é um **resultado espetável**, não só pelo facto de todos os parâmetros possuírem o mesmo peso, mas também porque no geral, a maior parte dos parâmetros possuíram maioritariamente a classificação de adequabilidade elevada na **região sul de Portugal Continental** e com maior peso de pontos com a classificação de adequabilidade moderada na **região norte de Portugal Continental**.

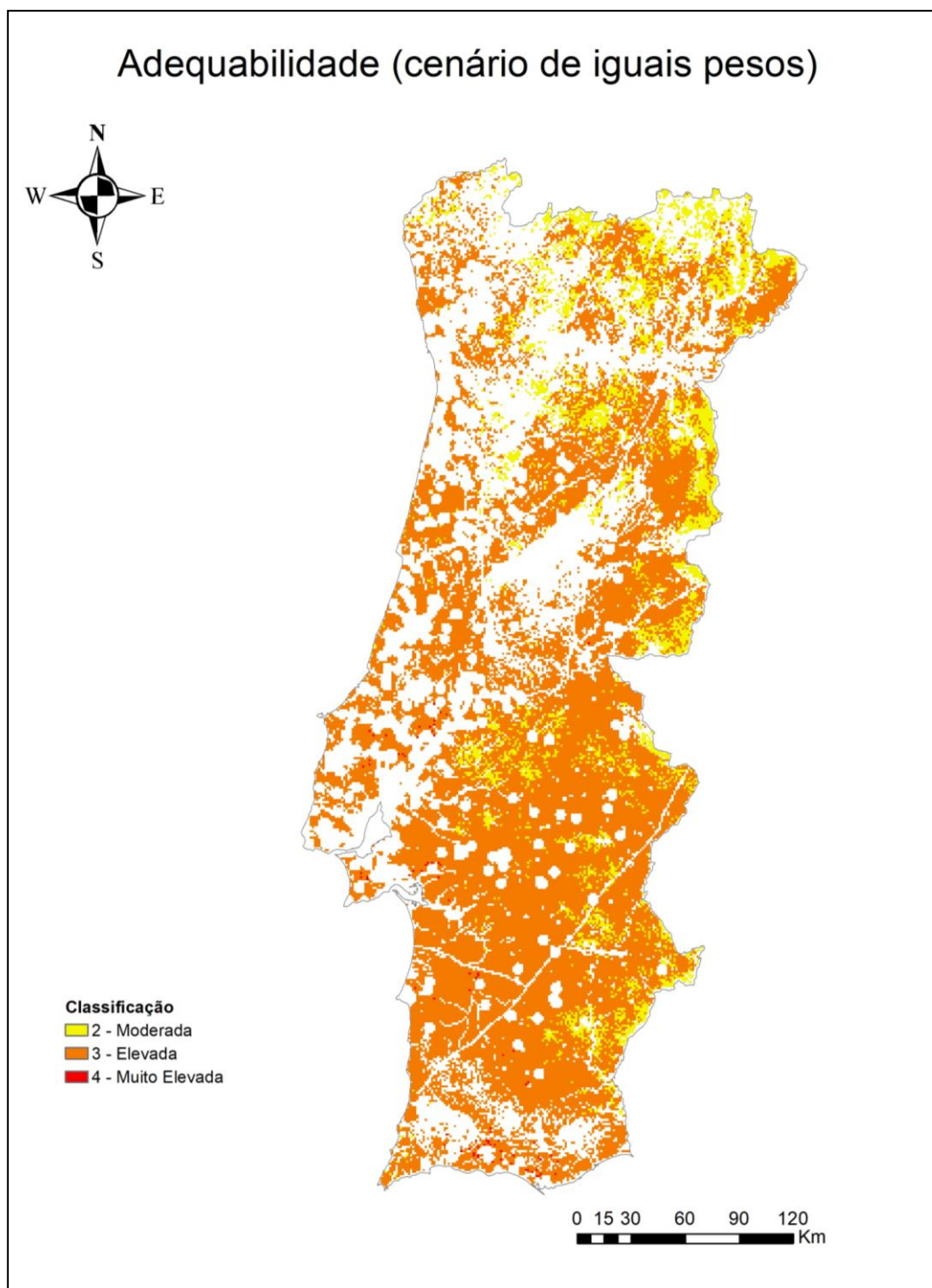


Figura 4.4.25 - Mapa de adequabilidade para um cenário de pesos iguais

Na Figura 4.4.26 encontra-se representado o mapa de adequabilidade para um cenário técnico. Análogamente ao que foi observado no mapa anterior, neste cenário é possível constatar-se que a classificação com maior distribuição e presença em Portugal Continental corresponde à classificação de **adequabilidade elevada**.

Constata-se também, que os locais que possuíram a melhor classificação (adequabilidade muito elevada), ocorrem dado que essas regiões são os locais que se encontram com melhores classificações nos parâmetros com maior influência para este cenário, nomeadamente os parâmetros da **irradiação solar** e da **distância à rede de transporte de energia**.

Por oposição ao que foi referido anteriormente os locais que possuíram a pior classificação (adequabilidade moderada) ocorrem pois apesar de Portugal Continental possuir uma boa classificação no parâmetro irradiação solar, o mesmo **não é possível afirmar** quando abordados os restantes parâmetros tais como a **distância à rede de transporte e rede viária**, onde se registam distâncias demasiado elevadas. Tem ainda a agravante de se registar casos onde o relevo possui **declives** com alguma acentuação e que simultaneamente correspondem com frequência a locais que entram em conflito com **áreas classificadas**, levando assim a uma subvalorização destes locais.

Em contraste com o cenário anterior, este é um tipo de cenário com uma classificação mais heterogénea o que por sua vez, permite uma melhor diferenciação da adequabilidade de uma CSFV. No entanto, esta avaliação é ainda **incompleta** para regiões que possuam o mesmo tipo de classificação. Dado o que foi observado, de forma a ser possível fornecer uma resposta mais completa ao investidor, será necessário comparar este mapa com os mapas de rendibilidade de forma a que este modelo permita ao investidor tomar uma decisão mais completa.

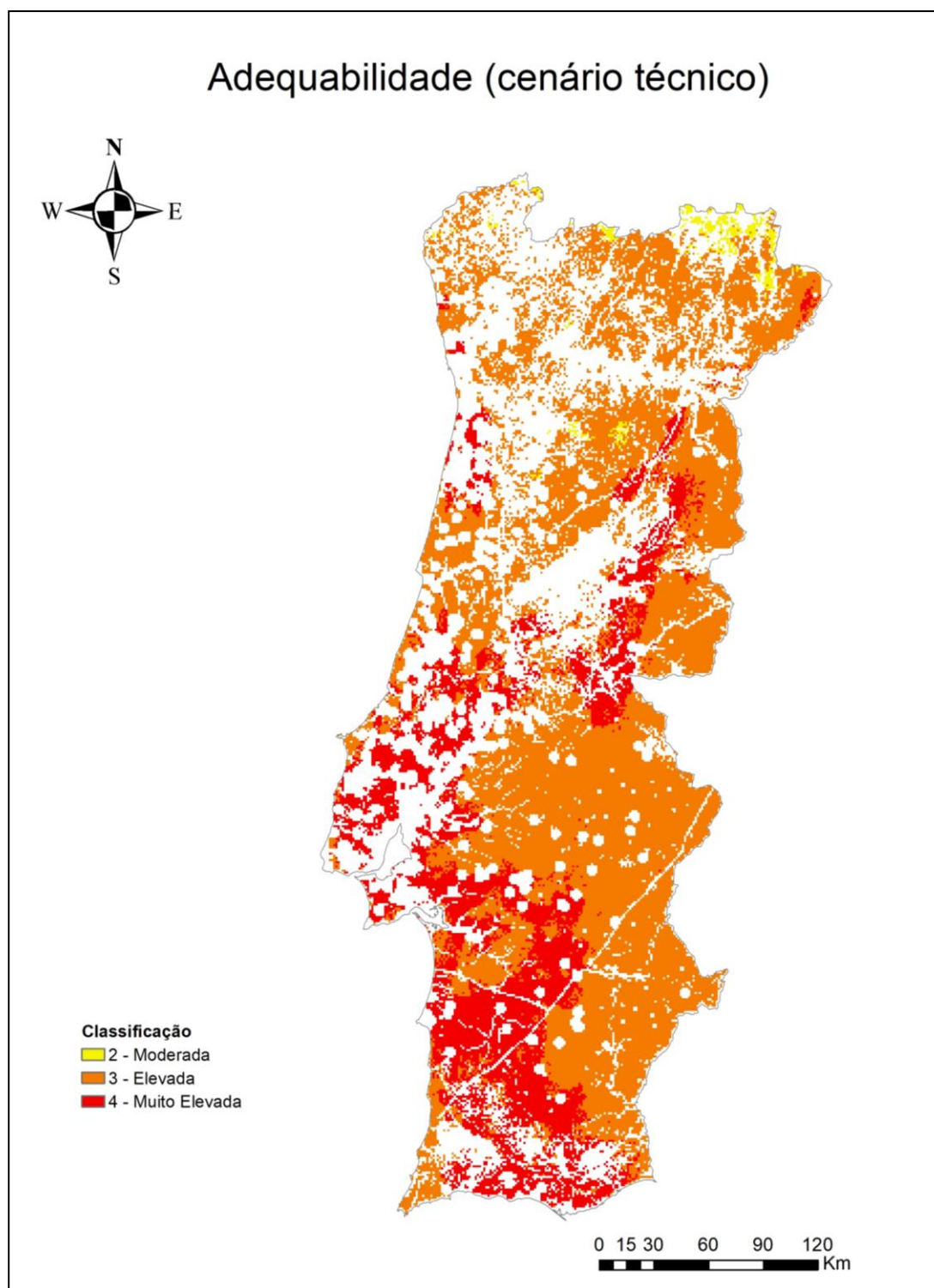


Figura 4.4.26 – Mapa de adequabilidade para um cenário técnico

Aplicando agora uma perspetiva ambiental, na Figura 4.4.27 encontra-se representado a avaliação de adequabilidade para um cenário ambiental. Analisando os resultados obtidos numa primeira análise, é possível constatar que esta **não é uma representação válida**, dado que ao contrário do que seria expectável, este mapa possui uma classificação **demasiado otimista** quando comparada com os outros dois cenários, sendo que, nesta simulação é possível constatar-se que a classificação com maior presença em Portugal Continental é a classificação de **adequabilidade elevada**.

Constata-se também, que os locais que possuíram a melhor classificação (adequabilidade muito elevada), ocorrem dado que essas regiões são locais que se encontram **bastante próximos de estradas e acessos**, bem como com são áreas que não se encontram abrangidas pelas áreas classificadas. Regista-se também que as áreas classificadas como muito elevadas ocorrem maioritariamente em locais cuja a sua atitude em relação ao nível do mar é baixa, pelo que todos estes parâmetros levaram à sobrevalorização da sua classificação de adequabilidade

Esta avaliação otimista ocorre uma vez que nas avaliações de adequabilidade numa perspetiva ambiental, autores como (Noorollahi et al., 2016), (Aly et al., 2017), (Uyan, 2013) e (Giamalaki & Tsoutsos, 2019) consideram as áreas ambientalmente protegidas como sendo **áreas de exclusão**, ao contrário do que ocorre nesta avaliação de adequabilidade, dado o que já foi referido anteriormente com o (Diário da República, 2015b) no artigo 23º B, **“os programas especiais das áreas protegidas podem estabelecer que determinadas atividades, ações ou projetos por eles, em geral, não admitidos, possam ser autorizados pela autoridade nacional”**.

Como tal, segundo estas referências, quando se aborda as áreas classificadas está a abordar-se unicamente as **áreas abrangidas pela reserva agrícola** e como tal o peso dado a este parâmetro é subvalorizado em relação ao peso que deve ser realmente atribuído para este caso em estudo. Dado o observado, infere-se assim a necessidade de se adaptar esta avaliação para um cenário que vise uma **melhor proteção dos agentes ecológicos**, em relação ao que é apresentado por outros autores.

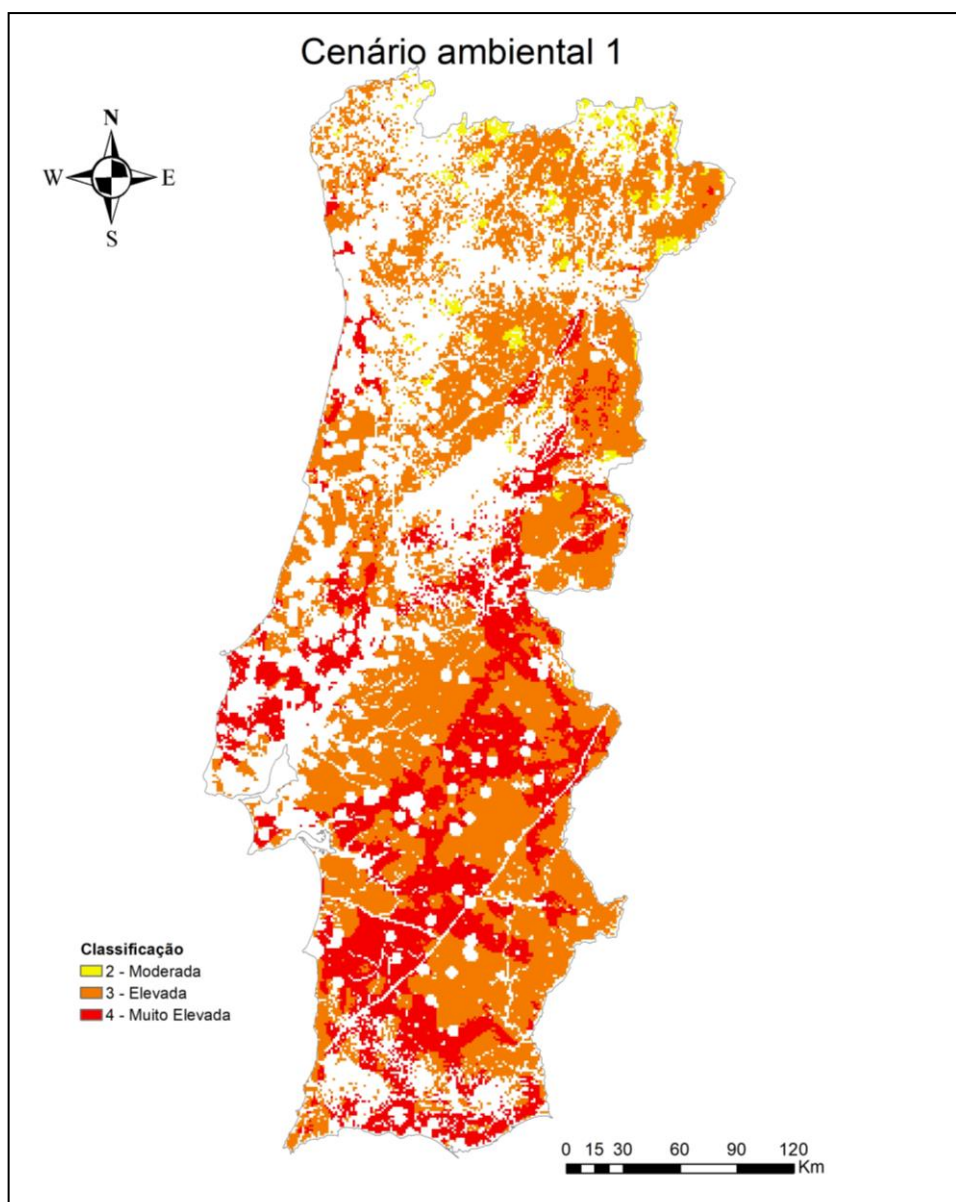


Figura 4.4.27 - Mapa de Adequabilidade tendo em vista a primeira simulação para o cenário ambiental

Como se pode observar na Figura 4.4.28 e na Tabela 4.4.5, em confrontação da primeira simulação com a segunda simulação, foi decidido **sobrevalorizar-se o peso do parâmetro áreas classificadas**, tornando-se assim o peso com maior influência para este tipo de análise, de forma a colmatar os efeitos do Decreto-Lei nº. 242/2015 artigo 23º B. Assim sendo, foi necessário diminuir o peso do parâmetro que se encontrava mais interligado com a produção energética (nomeadamente a **irradiação solar**), como também foi diminuído o peso do parâmetro **estradas, disponibilidade de água e atitude**, face ao facto de a proteção das áreas classificadas ser de **maior importância**, em relação aos outros parâmetros em questão, sem ter sido alterado a restante ordem hierárquica imposta na primeira simulação para este cenário.

Tabela 4.4.5 - Atribuição de pesos consoante as simulações feitas

<i>Cenário Ambiental</i>	<i>Simulação 1 (%)</i>	<i>Simulação 2 (%)</i>
<i>Irradiação Solar</i>	30	20
<i>Rede de Transporte</i>	3	3
<i>Áreas Classificadas</i>	26	46
<i>Potenciais consumidores</i>	5	5
<i>Declive</i>	2	2
<i>Exposição solar</i>	1	1
<i>Orientação</i>	2	2
<i>Estradas</i>	14	9
<i>Disponibilidade de água</i>	6	5
<i>Temperatura do ar</i>	1	1
<i>Atitude</i>	10	6
<i>Humidade Relativa</i>	1	1

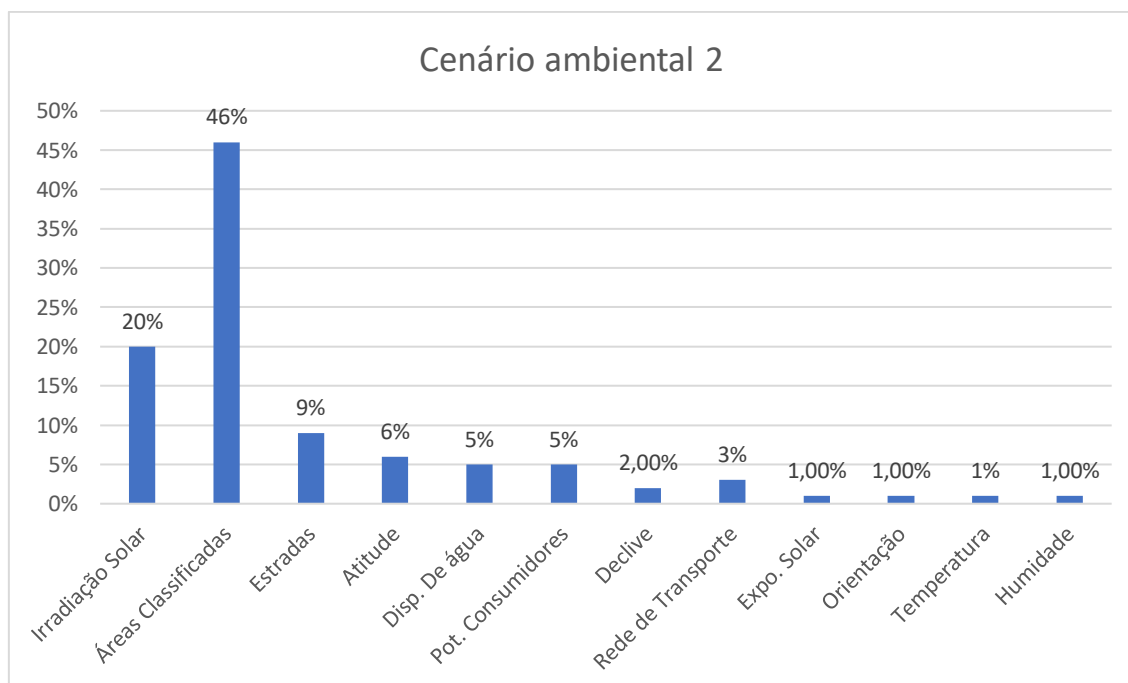


Figura 4.4.28 - Análise Hierárquica dos parâmetros de ponderação numa perspetiva ambiental

Na Figura 4.4.29, encontra-se representado a segunda simulação para este cenário. Para esta simulação, registou-se uma distribuição de classificações mais ampla, sendo que a classificação com maior frequência neste mapa é o de **classificação moderada**, maioritariamente devido ao forte peso do parâmetro **áreas classificadas**. Partindo da mesma figura, é possível constatar-se que as regiões com a classificação de muito elevada encontram-se maioritariamente na região **sul de Portugal Continental**, nomeadamente no distrito de **Faro** e na **região oeste do distrito de Beja**. Porém é também de se destacar a sua forte presença na **região nordeste e centro norte de Portugal Continental**, uma vez que apesar de não possuírem uma classificação de adequabilidade muito elevada no parâmetro da irradiação solar, estas regiões **não intersectam com áreas classificadas**, bem como existe uma **forte densidade de consumidores domésticos e industriais** nestas regiões.

Dado o observado, tendo em vista a proteção da flora e fauna da área de estudo, é possível inferir que esta simulação se aproxima mais de uma perspetiva ambiental quando comparado com o resultado obtido na primeira simulação.

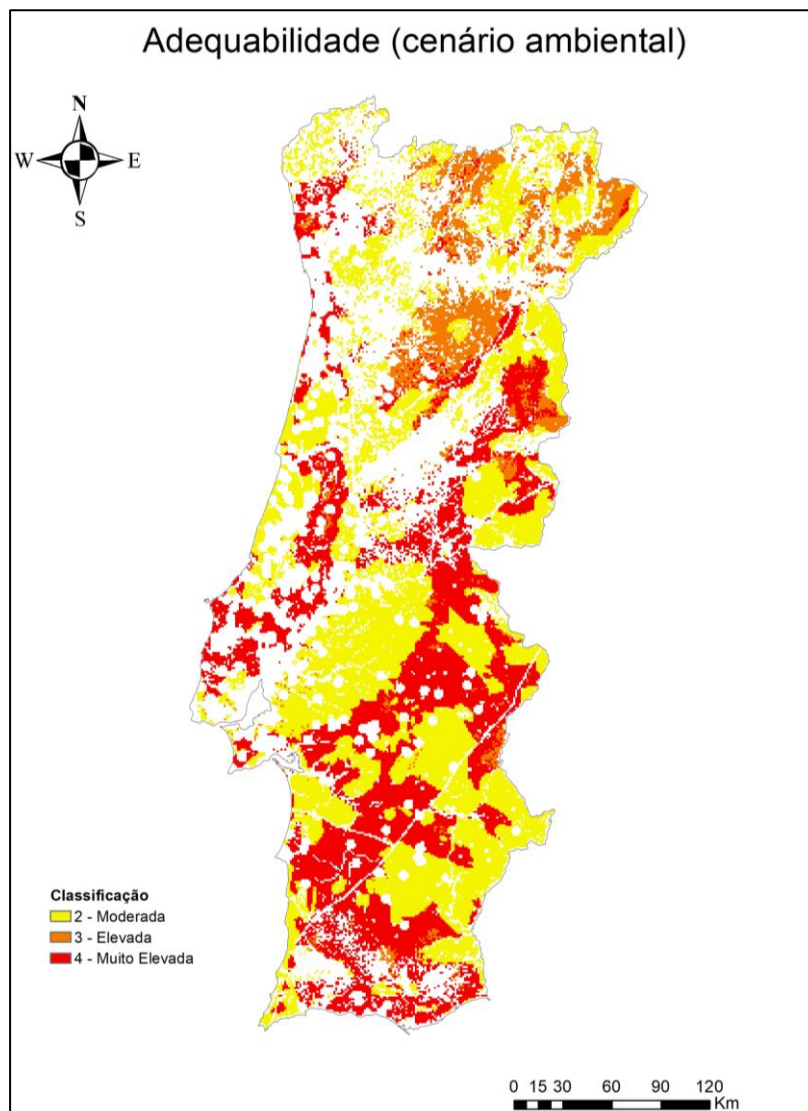


Figura 4.4.29 - Carta de adequabilidade tendo em vista um cenário ambiental

4.5 Etapa 4 - Elaboração das cartas de rendibilidade

Para a elaboração das cartas de rendibilidade para cada indicador económico, foi tido por base os valores de irradiação adquiridos na Etapa 1 (Figura 4.2.5) bem como a malha de coordenadas definida na Figura 4.2.2 foram seguidos os seguintes seis passos metodológicos:

- Passo 1 – Escolha do módulo FV;
- Passo 2 – Cálculo dos indicadores económicos para cada ponto de amostragem;
- Passo 3 – Estimção geoestatística do indicador LCOE e sua respetiva interseção com áreas residuais;
- Passo 4 – Estimção geoestatística do indicador TIR e sua respetiva interseção com áreas residuais;
- Passo 5 – Estimção geoestatística do indicador VAL e sua respetiva interseção com áreas residuais;
- Passo 6 – Estimção geoestatística do indicador PRI.

Passo 1 – Escolha do módulo FV

De forma a ser avaliado a rendibilidade deste projeto, foi escolhido a aplicação do módulo FV *Ulica-Poly 265w 35mm*, sendo que esta tecnologia possui as seguintes especificações:

Tabela 4.5.1 - Especificações do módulo *Ulica-Poly 265w 35mm*

<i>Parâmetros</i>	<i>Características</i>
Rendimento Global	16,0%
Comprimento	1650 mm
Largura	992 mm
Área	1,639 m ²
P-ST _{STC}	265 W
T-STC	25 °C
NOCT	45 °C
α_p	0,403 %/°C
Degradação anual	0,833%/ano

Como é possível analisar-se na Tabela 4.5.1, dado a necessidade de se instalar uma CSFV de 50 MWp, infere-se que será necessário instalar 188.679 módulos, o que por sua vez, corresponde a uma área útil de exploração de 30,88 ha.

Passo 2 – Cálculo dos indicadores económicos para cada ponto de amostragem

De seguida foi necessário recorrer aos valores médios de irradiação diária obtidos na elaboração do mapa inicial, de forma a proceder-se ao cálculo da energia obtida por uma CSFV. Como tal, inicialmente é necessário calcular-se a temperatura da célula (T_{cell}), para cada intervalo de tempo recorrendo à seguinte expressão (Programa Altener, 2004):

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{NOCT-20}{800 \times G}, (^{\circ}C) \quad (29)$$

Posteriormente, será agora necessário proceder ao cálculo da potência DC (P_{DC}), tendo agora por base a irradiância, as características do módulo FV aplicado e tendo por base a temperatura real na célula recorrendo à seguinte expressão (Programa Altener, 2004):

$$P_{DC} = P_{STC} \times \frac{G}{1000} \times [\alpha_p (T_{cell} - T_{STC})], (kW/m^2) \quad (30)$$

De seguida, foi necessário ter-se em consideração a área total da instalação (A), mas também as perdas globais resultantes da diferença módulos, sujidades e perdas de Joule nos cabos DC (p), calculando assim a potência DC out (P_{DC_out}) a partir da seguinte expressão (Programa Altener, 2004):

$$P_{DC_out} = P_{DC} \times A \times (1 - p), (MWh) \quad (31)$$

Após o cálculo da potência DC out, com uma generalização do rendimento do inversor (η_{inv}) de 92% é possível agora calcular-se a potência AC recorrendo à seguinte expressão (Programa Altener, 2004):

$$P_{AC} = P_{DC_out} \times \eta_{inv}, (MWh) \quad (32)$$

Por fim, é multiplicado o valor da potência AC, pelo número de dias num ano de forma a ser calculada a potência AC anual. De forma a melhor aproximar o estudo energético da central a uma performance real ao longo do seu ciclo de vida (Δt) é necessário ter em conta a degradação anual dos módulos ($\alpha_{deg,anual}$), que é calculada através da garantia de rendimento, (g_n), normalmente explícita pelo fornecedor do equipamento, sendo que a degradação anual é calculada da seguinte forma (Programa Altener, 2004):

$$\alpha_{deg,anual} = \frac{(1 - g_n)}{\Delta t} = 0,833 \text{ \%/ano} \quad (33)$$

Com isto foi possível calcular a energia extraída ao longo do ciclo de vida da CSFV, sendo que a Energia total (E_t) resultará na soma de energias em todos os anos desta instalação. (Programa Altener, 2004)

Relativamente ao preço de venda de energia em leilão, em 2019 foi registado o recorde mínimo de 14,8€/MWh, valor que foi 67% inferior quando comparado com o valor base da licitação de 45 €/MWh (Portal Energia - Energias Renováveis, 2019).

Como tal, para efeitos desta dissertação foi generalizado que o preço de venda de energia da instalação de uma CSFV será de 25€/MWh, assumindo assim um valor que resulta de uma diminuição de 44% face ao valor base de licitação de 45 €/MWh. A este preço foi agora aplicado uma taxa de crescimento de 2% ao ano ao longo do contrato de exploração de energia solar e uma taxa de atualização (r) de 6,5%. Tendo agora estabelecido o preço de venda à rede ($Preço_t$), foi possível agora calcular-se a receita anual para cada ano respetivo ($R_{anual,t}$) recorrendo à seguinte expressão:

$$R_{anual,t} = P_{AC,t} \times Preço_t, (\text{€}) \quad (34)$$

Quanto ao Investimento Inicial, de forma a simplificar este cálculo, foi assumido um custo de instalação de 0,60 €/Whp, resultando assim um investimento inicial de 30.000.000 € para uma potência instalada de 50 MWp. Quanto aos custos de operação e manutenção ($C_{O\&M}$), foi assumido que este representa 1,5% do custo do investimento inicial após o primeiro ano de instalação, sendo que a sua variação ao longo do ciclo de vida da CSFV foi calculada através da seguinte expressão:

$$C_{O\&M,t} = \frac{C_{O\&M}}{(1+r)^t} \quad (35)$$

Tendo agora calculados os custos e receitas, foi possível determinar os *cashflows* e *cashflows acumulados* de cada ano e com todos estes dados, partindo das equações abordadas no Capítulo 2.4.1, foi possível calcular-se os indicadores económicos *VAL*, *TIR*, *PRI* e *LCOE* para cada coordenada de estudo. Quando analisados os indicadores económicos ao longo de Portugal Continental, na Tabela 4.5.2 é possível analisar-se os seguintes valores máximos e mínimos registados:

Tabela 4.5.2 - Valores Económicos máximos e mínimos registados

Indicadores Económicos	Mínimo	Máximo
<i>VAL</i>	10.71 M€	22.94 M€
<i>TIR</i>	10.2%	14.1%
<i>PRI</i>	7 anos	9 anos
<i>LCOE</i>	9.40 €/MWh	11.73 €/MWh

Após a estimação destes indicadores económicos, a inserção destes dados no SIG, foi agora procedido a um procedimento semelhante ao do mapa inicial, procedendo assim a um processo de krigagem do tipo simples, dado que este tipo de indicadores está diretamente correlacionado com parâmetros climáticos, levando a que a variação deste tipo de dados seja maioritariamente do tipo linear.

Passo 3 – Estimação geoestatística do indicador LCOE e sua respetiva interseção com áreas residuais

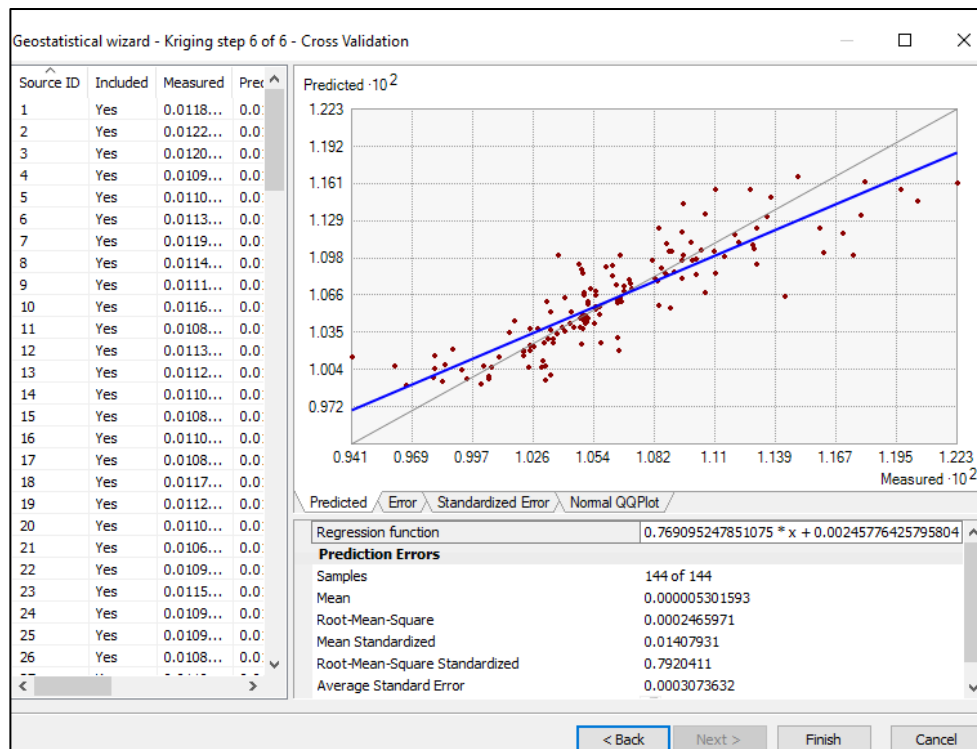


Figura 4.5.1 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicada ao indicador LCOE

Da Figura 4.5.1, quando analisados os erros previstos é possível analisar-se que esta é uma **boa validação** para o indicador LCOE dado que a variação da amostragem encontra-se bastante próxima da linha de tendência e como os valores de erro previsto como o erro médio, o erro médio quadrático e o erro médio standard encontram-se bastante próximos de zero, validando assim este tipo de krigagem para o indicador LCOE. Após a krigagem, foi agora necessário intersectar este mapa com as áreas residuais, resultando assim no mapa final representado na Figura 4.5.2.

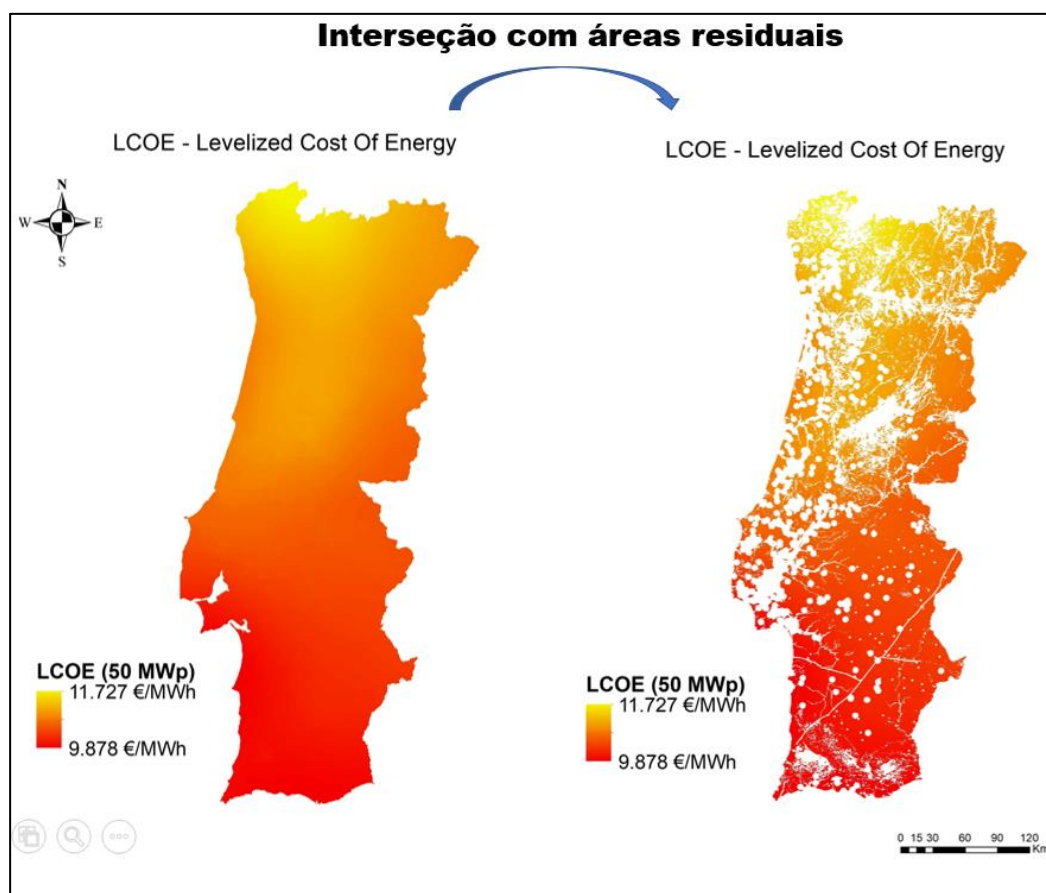


Figura 4.5.2 - Interseção do mapa LCOE com as áreas residuais

Da Figura 4.5.2, é possível constatar-se que os preços por energia variam entre os **11.727€/MWh** e os **9.878€/MWh**, sendo que a sua distribuição encontra-se inversamente proporcional com os valores de irradiação obtidos no mapa da primeira etapa, ou seja, constata-se que os menores preços se encontram a Sul e a Sudoeste de Portugal Continental enquanto que simultaneamente os preços por energia mais elevados encontram-se na região Norte de Portugal Continental. Este facto ocorre, visto que quanto maior for o potencial de irradiação solar a explorar, maior será a receita e dado a definição de LCOE, para um mesmo investimento inicial será lógico que os locais com maior irradiação solar terão os seus respetivos preços de instalação inferiores.

Passo 4 – Estimação geoestatística do indicador TIR e sua respectiva interseção com áreas residuais

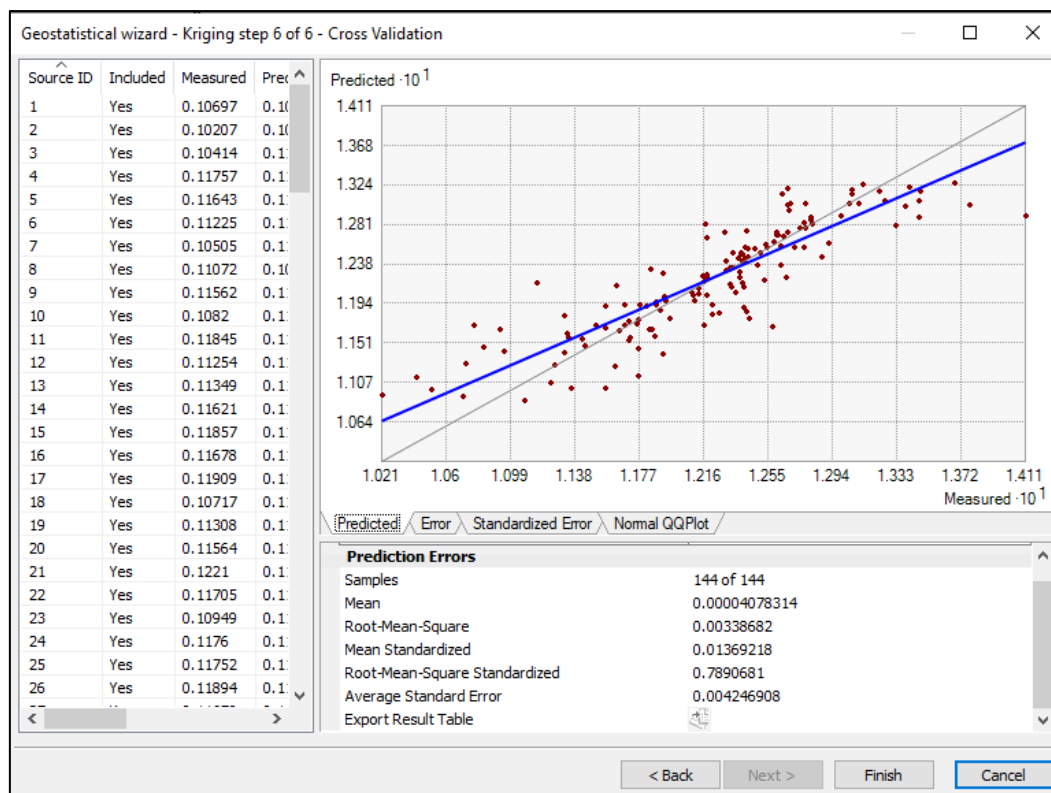


Figura 4.5.3 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicada ao indicador económico TIR

Analisando a Figura 4.5.3, constata-se que esta é uma boa validação para o indicador TIR dado que a variação da amostragem encontra-se bastante próxima da linha de tendência. Constata-se também que os valores de erro previsto como o erro médio, o erro médio quadrático e o erro médio standard encontram-se bastante próximos de zero, validando assim este tipo de krigagem para o indicador TIR. Após ter sido validada este modelo de krigagem foi agora necessário interseccionar este mapa com as áreas residuais, resultando assim no mapa final representado na Figura 4.5.4.

Da Figura 4.5.4, é possível constatar-se que ao longo de Portugal Continental, é possível observar-se uma variação do TIR entre os **10,8% e os 13,34%**, sendo que a sua distribuição encontra-se diretamente proporcional com os valores de irradiação obtidos no mapa da primeira etapa, ou seja, constata-se que as maiores taxas de rentabilidade encontram-se a Sul e a Sudoeste de Portugal Continental enquanto que simultaneamente os preços por energia mais elevados encontram-se na região Norte de Portugal Continental. Este facto ocorre, visto que quanto maior for o potencial de irradiação solar a explorar, maior será a receita e dado a definição de TIR, para um mesmo investimento inicial será lógico que os locais com maior irradiação terão maiores taxas de retorno do seu investimento.

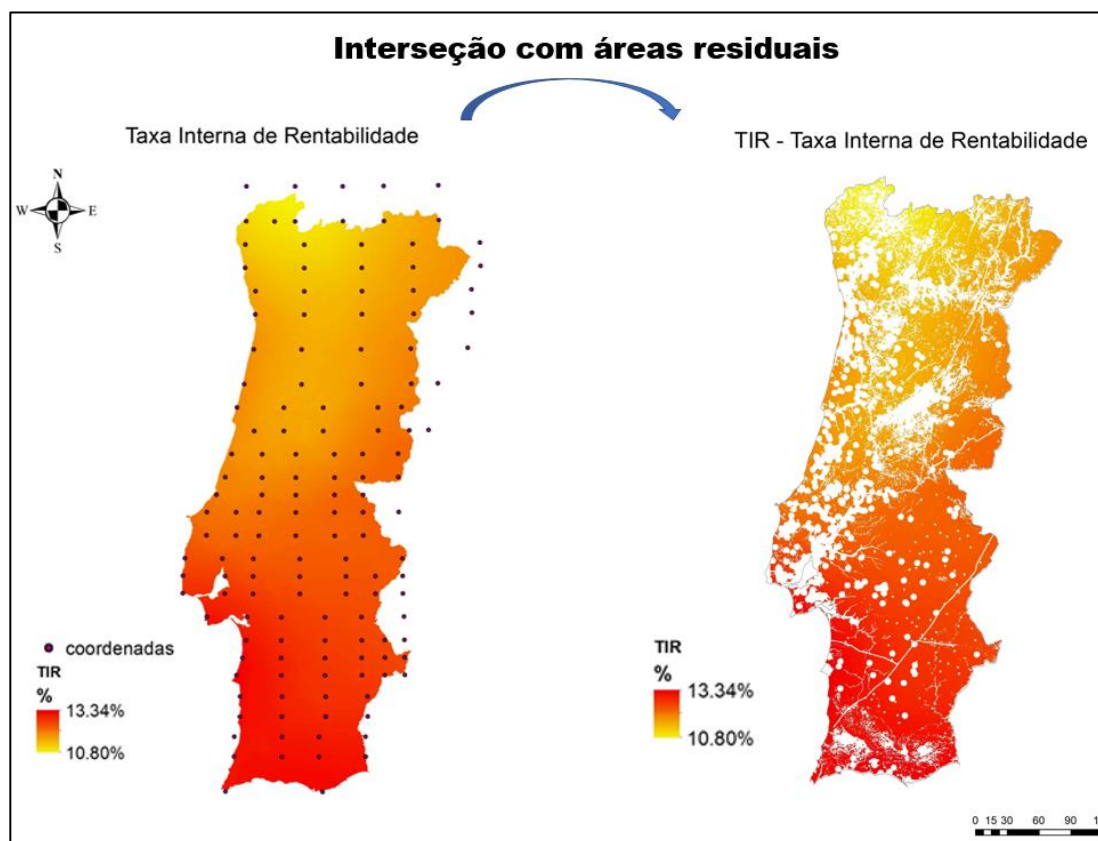


Figura 4.5.4 - Interseção do mapa TIR com as áreas residuais

Passo 5 – Estimação geoestatística do indicador VAL e sua respetiva interseção com áreas residuais

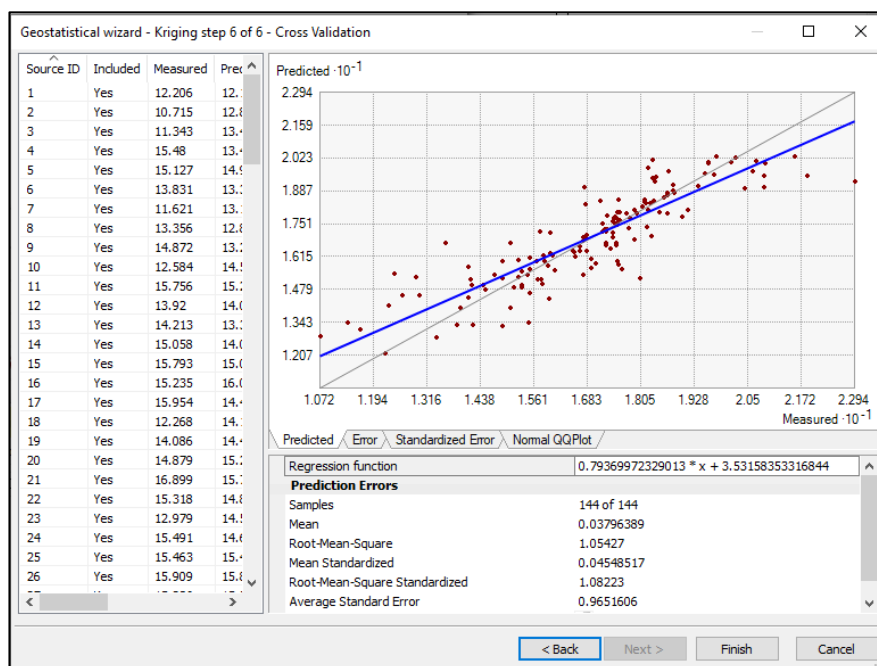


Figura 4.5.5 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicada ao indicador económico para o indicador económico VAL

Da Figura 4.5.5, em semelhança ao que se observou no indicador TIR, constata-se que esta é uma **boa validação para o indicador VAL** dado que os valores de erro previsto como o erro médio, o erro médio quadrático e o erro médio standard encontram-se **próximos de zero**, porém apresentam erros maiores do que os que foram observados nos indicadores TIR e LCOE. Apesar desse fenómeno é ainda possível validar este tipo de krigagem para o indicador VAL. Encontrando-se validada esta krigagem, à semelhança do que foi efetuado para os indicadores TIR e LCOE, foi agora necessário intersectar este mapa com as áreas residuais, resultando assim no mapa final representado na Figura 4.5.6.

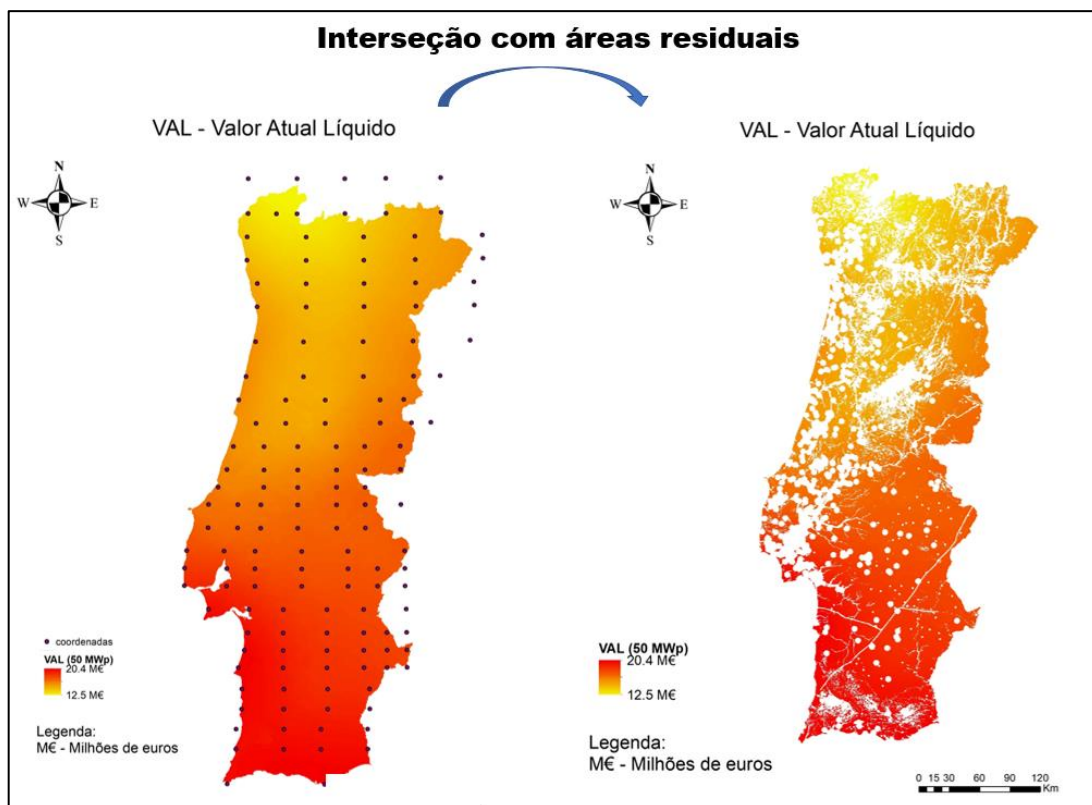


Figura 4.5.6 - Interseção do mapa VAL com as áreas residuais

Da Figura 4.5.6, é possível observar-se uma variação do valor atual líquido do projeto entre os **12.5 milhões de euros e os 20.4 milhões de euros**, sendo que tal como foi observado no indicador TIR, a sua distribuição encontra-se diretamente proporcional com os valores de irradiação obtidos no mapa da primeira etapa, ou seja, constata-se que os maiores valores atuais líquidos de uma CSFV encontram-se a Sul e a Sudoeste de Portugal Continental enquanto que simultaneamente regista-se o inverso na região Norte de Portugal Continental. Este facto ocorre, visto que quanto maior for o potencial de irradiação solar a explorar, maior será a receita gerada.

Passo 6 – Estimação geoestatística do indicador PRI

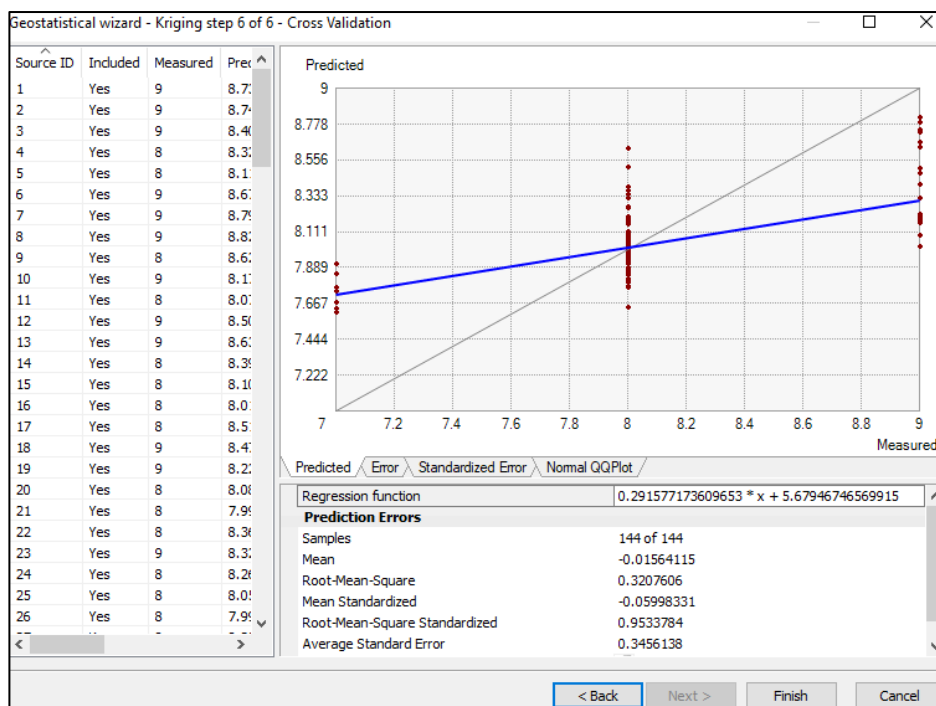


Figura 4.5.7 - Validação cruzada do modelo de krigagem simples aplicada ao indicador económico PRI

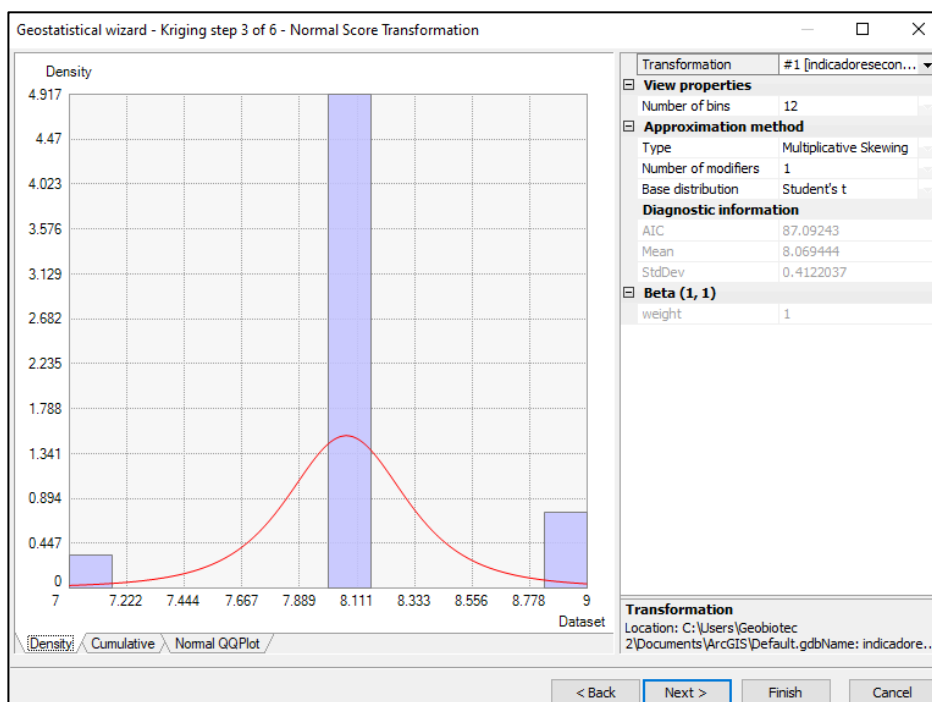


Figura 4.5.8 – Distribuição Normal do modelo de krigagem simples aplicado ao indicador económico PRI

Contrariamente ao que foi observado nos indicadores económicos anteriores, da Figura 4.5.7, é possível constatar-se que apesar dos valores de erro da estimação deste mapa serem próximos de zero, os valores de amostragem não se encontram próximos da linha de tendência. Este fenómeno deve-se pelo facto de como se pode observar na Figura 4.5.8, dado que o indicador PRI é um indicador apresentado sob forma de número inteiro como, grande parte da amostragem obteve um resultado de 8 anos de retorno, pelo que este modelo de krigagem não se pode aplicar a este tipo de indicadores. Como tal, partindo deste raciocínio, conclui-se que de forma a ser melhor analisado a rentabilidade de um projeto, não se deve mapear o indicador PRI, servindo assim só como referência para cada coordenada em estudo.

Partindo da metodologia aplicada neste capítulo, foram calculados novos mapas para os indicadores LCOE, TIR e VAL, onde foram realizadas simulações partindo da variação da potência instalada, (100 MWp, 250 MWp e 500 MWp). Como se pode observar na Tabela 4.5.3, ao ser aumentada a potência instalada, levará a que seja necessária uma área maior, dado o que foi abordado no Capítulo 4.3.3. Dado que a potência instalada aumenta, foi feita uma simulação tendo por base que quando o preço de venda da energia à rede for a leilão, será expectável que quanto maior for a potência instalada, menores serão os preços de venda de energia à rede bem como os custos de instalação.

Tabela 4.5.3 - Tabela com a variação da área mínima de instalação, preço de venda de energia à rede e custos de instalação consoante a potência instalada na CSFV

<i>Potência Instalada na CSFV</i>	<i>Área mínima necessária (ha)</i>	<i>Preço de venda da energia à rede</i>	<i>Custo de instalação</i>
50 MWp	117 ha	25 €/MWh	0,600 €/kWh
100 MWp	234 ha	23 €/MWh	0,598 €/kWh
250 MWp	585 ha	21 €/MWh	0,595 €/kWh
500 MWp	1170 ha	20 €/MWh	0,590 €/kWh

5 Etapa 5 - Análise de Resultados

5.1 Distribuição de áreas de exclusão

Após implementado o modelo e analisados os resultados obtidos no Capítulo 4.5, na Figura 5.1.1 é possível quantificar-se e analisar-se as áreas de exclusão atribuídas a cada distrito ao longo de Portugal Continental:

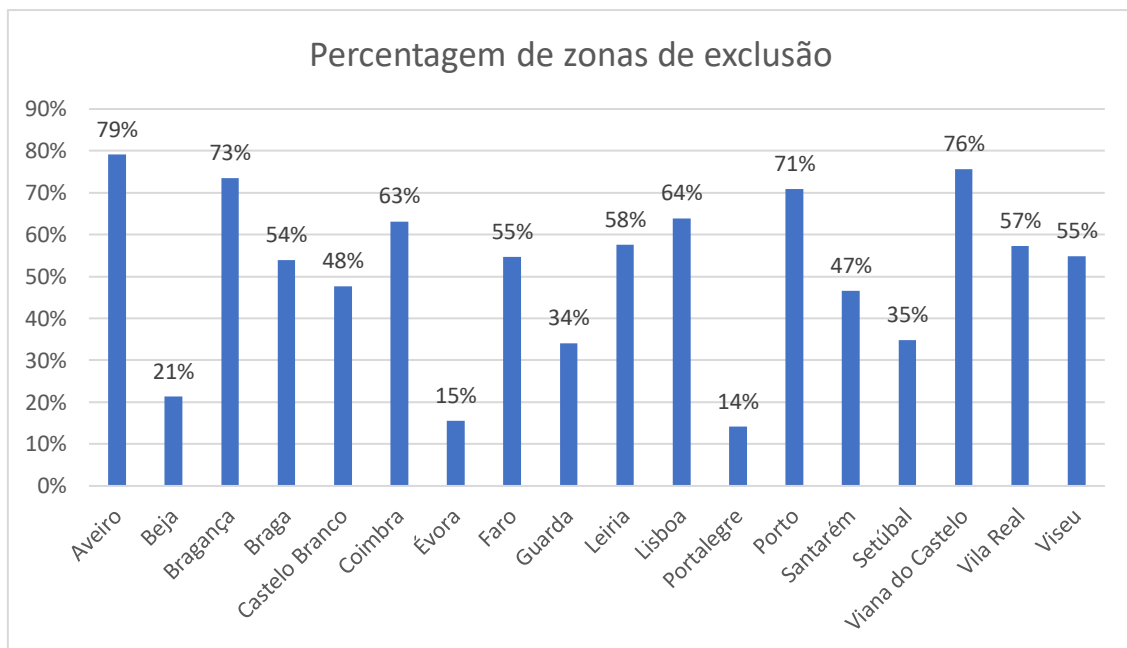


Figura 5.1.1 - Percentagem de áreas de exclusão para cada distrito

Pela leitura da Figura 5.1.1, afigura-se que os distritos com maior percentagem de áreas de exclusão são os distritos de **Aveiro, Viana do Castelo, Bragança e Porto** (com 79%, 76%, 73% e 71% de áreas de exclusão respetivamente). Estas elevadas percentagens de áreas de exclusão, devem-se ao facto de serem distritos onde o relevo possui maioritariamente áreas cujo declive é demasiado acentuado para a instalação de CSFV, como se pode observar na Figura 4.3.11. Quanto à elevada percentagem de exclusão do distrito de **Lisboa** (64%), deve-se ao facto de existirem vários perímetros de proteção a captações de água, bem como ao facto de ser um distrito com uma elevada área de superfícies de inundação.

Por outro lado, é possível constatar que os distritos com menores percentagens de áreas de exclusão correspondem aos distritos de **Portalegre, Évora e Beja** (com 14 %, 15% e 21% respetivamente). Estas baixas percentagens de áreas de exclusão devem-se ao facto de estes distritos possuírem áreas maioritariamente planas, bem como ao facto de ser baixa a densidade de indústrias nestes distritos dado ao facto de serem distritos destinados maioritariamente à atividade agrícola.

5.2 Cartas de adequabilidade por distrito

Após ter sido abordado a distribuição de áreas de exclusão, pretende-se agora analisar as classificações médias atribuídas a cada distrito, consoante o tipo de cenário aplicado. Estas classificações foram feitas a partir de uma média aritmética, tendo por base a percentagem de cada classificação presente em cada distrito, sendo que também se analisará uma média aritmética tendo por base exclusivamente os pontos operadores. Como tal na Tabela 5.2.1, Figura 5.2.1 e Figura 5.2.2 encontram-se os resultados obtidos para o cenário de pesos iguais

Tabela 5.2.1 - Resultados obtidos no cenário de pesos iguais

<i>Distritos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Classificação (com áreas de exclusão)</i>	<i>Classificação (sem áreas de exclusão)</i>
<i>Aveiro</i>	79%	0%	1%	20%	0,00%	0,61	2,94
<i>Beja</i>	21%	0%	7%	72%	0,10%	2,29	2,92
<i>Bragança</i>	73%	0%	3%	23%	0,00%	0,76	2,87
<i>Braga</i>	54%	0%	20%	26%	0,00%	1,18	2,57
<i>Castelo Branco</i>	48%	0%	8%	44%	0,02%	1,49	2,84
<i>Coimbra</i>	63%	0%	1%	36%	0,00%	1,09	2,97
<i>Évora</i>	15%	0%	7%	77%	0,04%	2,47	2,92
<i>Faro</i>	55%	0%	1%	43%	0,83%	1,35	2,99
<i>Guarda</i>	34%	0%	20%	46%	0,00%	1,77	2,69
<i>Leiria</i>	58%	0%	1%	42%	0,00%	1,27	2,99
<i>Lisboa</i>	64%	0%	36%	0%	0,00%	0,73	2,01
<i>Portalegre</i>	14%	0%	11%	74%	0,00%	2,46	2,87
<i>Porto</i>	71%	0%	4%	25%	0,00%	0,83	2,85
<i>Santarém</i>	47%	0%	5%	49%	0,23%	1,56	2,92
<i>Setúbal</i>	35%	0%	0%	65%	0,42%	1,96	3,00
<i>Viana do Castelo</i>	76%	0%	7%	18%	0,00%	0,67	2,73
<i>Vila Real</i>	57%	0%	18%	25%	0,00%	1,10	2,58
<i>Viseu</i>	55%	0%	13%	32%	0,00%	1,23	2,72

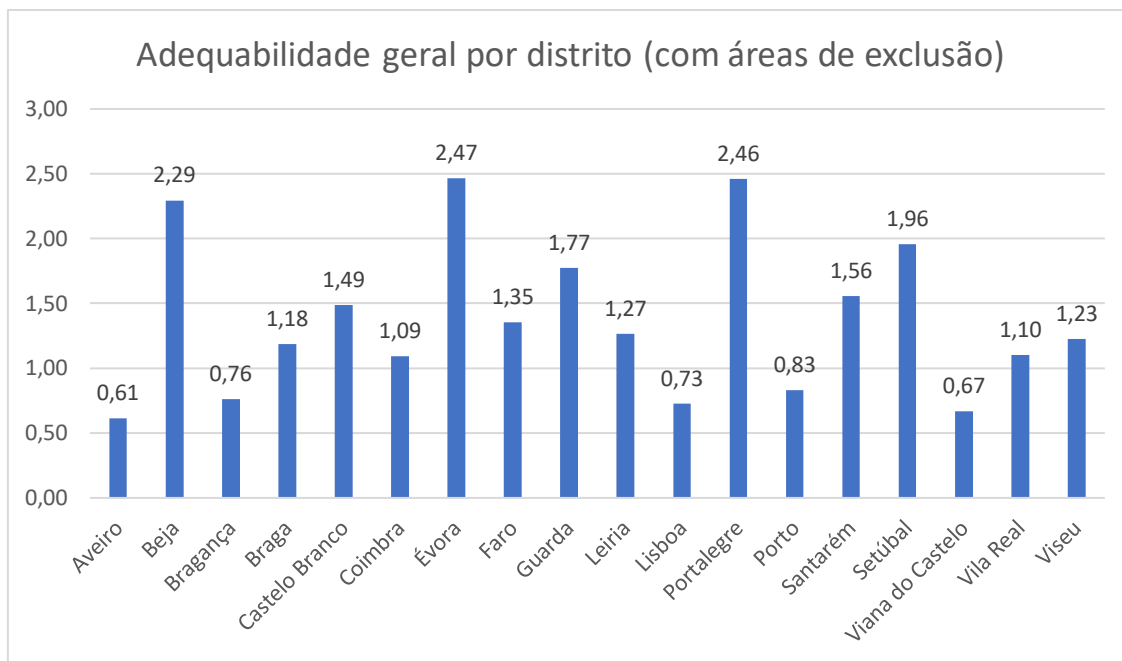


Figura 5.2.1 - Classificação geral de cada distrito para o cenário de pesos iguais

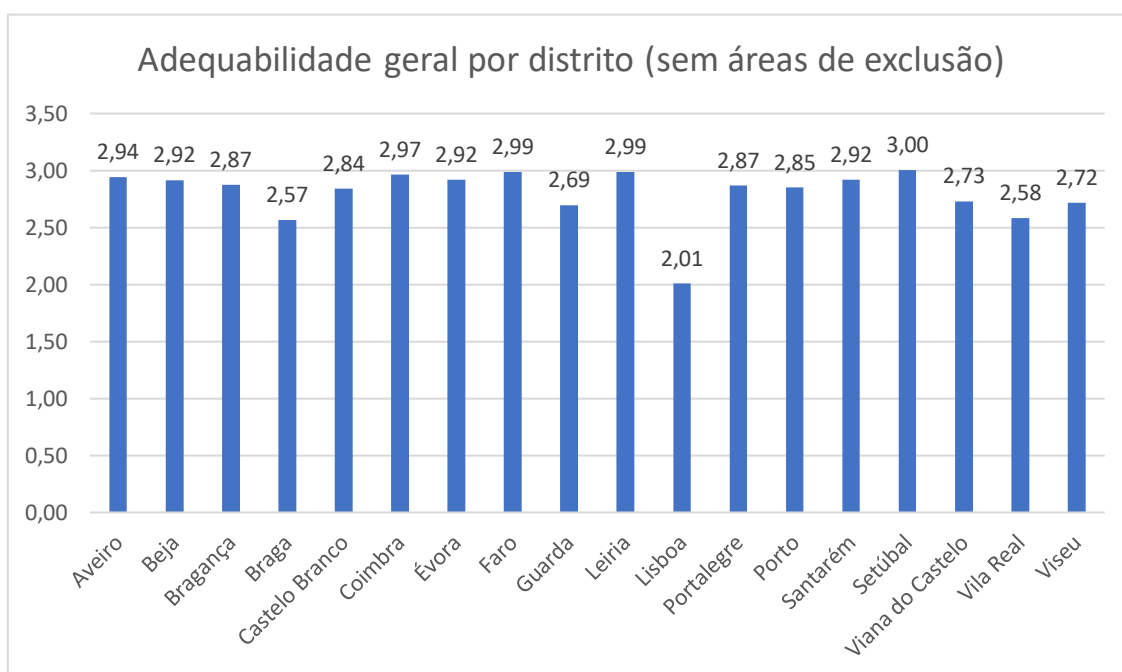


Figura 5.2.2 - Classificação geral sem áreas de exclusão para cada distrito para o cenário de pesos iguais

Partindo da Figura 5.2.1 é possível observar que as classificações com as áreas de exclusão, são mais heterogêneas do que as classificações gerais sem as áreas de exclusão no caso da Figura 5.2.2, sendo que para a classificação com áreas de exclusão registou-se um intervalo de classificações entre os **0.67 e os 2.47**. Foi possível registar-se que as classificações mais elevadas, ocorreram nos distritos de **Évora, Beja e Portalegre**, com classificações de **2.47, 2.46 e 2.29** respetivamente. Estas classificações resultam do facto de estes serem os distritos com baixas percentagens de áreas de exclusão, logo terão maiores áreas disponíveis para a exploração do recurso solar. Por oposição, os distritos de **Lisboa, Viana do Castelo e Aveiro**, foram os que obtiveram as piores classificações (0.73, 0.67 e 0.61 respetivamente). O caso dos distritos de **Aveiro e Viana do Castelo** ocorrem devido às suas **elevadas percentagens de áreas de exclusão** pelo que levaram à subvalorização destes distritos. No caso do distrito de **Lisboa**, esta classificação ocorre, dado que os parâmetros onde este distrito possui melhores classificações (nomeadamente a irradiação, consumidores diretos e distância à rede de transporte de energia e à rede viária) foram **subvalorizados** neste cenário, pelo que levou a uma subvalorização da classificação deste distrito.

Porém, quando agora analisados a classificação sem áreas de exclusão na Figura 5.2.2, é possível tecer diferentes observações que os observados na Figura 5.2.1, dado que os resultados são agora mais homogêneos quando comparados com a Figura 5.2.1, com um intervalo de valores entre **2.01 e 3**. Os distritos que na figura 5.2.2 registaram as classificações mais elevadas, foram nomeadamente os distritos de **Setúbal, Leiria e Faro** com classificações de **3, 2.99 e 2.99** respetivamente. Estas classificações ocorrem dado que como se pode observar na Tabela 5.2.1, na maior parte das áreas de estudo nestes distritos foi possível registar-se maioritariamente classificações de adequabilidade de 3. Quanto aos distritos com piores classificações registam-se os distritos de **Vila Real, Braga e Lisboa**, com classificações de **2.58, 2.57 e 2.01**. Para o caso dos distritos de **Vila Real e Braga**, estes resultados devem-se ao facto de serem áreas onde as suas características climáticas e de relevo não são tão bem classificados quando comparados com os distritos a Sul de Portugal. Quanto ao caso de Lisboa deve-se ao que foi abordado quando analisada a Figura 5.2.1.

De seguida na Tabela 5.2.2, Figura 5.2.3 e Figura 5.2.4 serão representados os resultados obtidos no cenário técnico.

Tabela 5.2.2 - Resultados obtidos no cenário técnico

<i>Distritos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Classificação (com áreas de exclusão)</i>	<i>Classificação (sem áreas de exclu- são)</i>
<i>Aveiro</i>	79%	0%	0%	13%	8%	0,72	3,39
<i>Beja</i>	21%	0%	0%	48%	31%	2,68	3,40
<i>Bragança</i>	72%	0%	0%	27%	1%	0,84	3,03
<i>Braga</i>	53%	0%	6%	40%	1%	1,37	2,90
<i>Castelo Branco</i>	47%	0%	0%	36%	17%	1,75	3,32
<i>Coimbra</i>	63%	0%	0%	37%	0%	1,12	3,00
<i>Évora</i>	16%	0%	0%	69%	15%	2,68	3,18
<i>Faro</i>	54%	0%	0%	20%	26%	1,63	3,57
<i>Guarda</i>	17%	0%	0%	27%	56%	3,06	3,67
<i>Leiria</i>	57%	0%	0%	27%	16%	1,45	3,37
<i>Lisboa</i>	64%	0%	0%	4%	33%	1,41	3,90
<i>Portalegre</i>	14%	0%	0%	80%	6%	2,63	3,07
<i>Porto</i>	70%	0%	0%	29%	1%	0,91	3,04
<i>Santarém</i>	46%	0%	0%	34%	20%	1,81	3,36
<i>Setúbal</i>	34%	0%	0%	25%	41%	2,38	3,62
<i>Viana do Castelo</i>	74%	0%	2%	24%	0%	0,76	2,91
<i>Vila Real</i>	56%	0%	1%	42%	0%	1,30	2,97
<i>Viseu</i>	54%	0%	2%	44%	0%	1,37	2,97

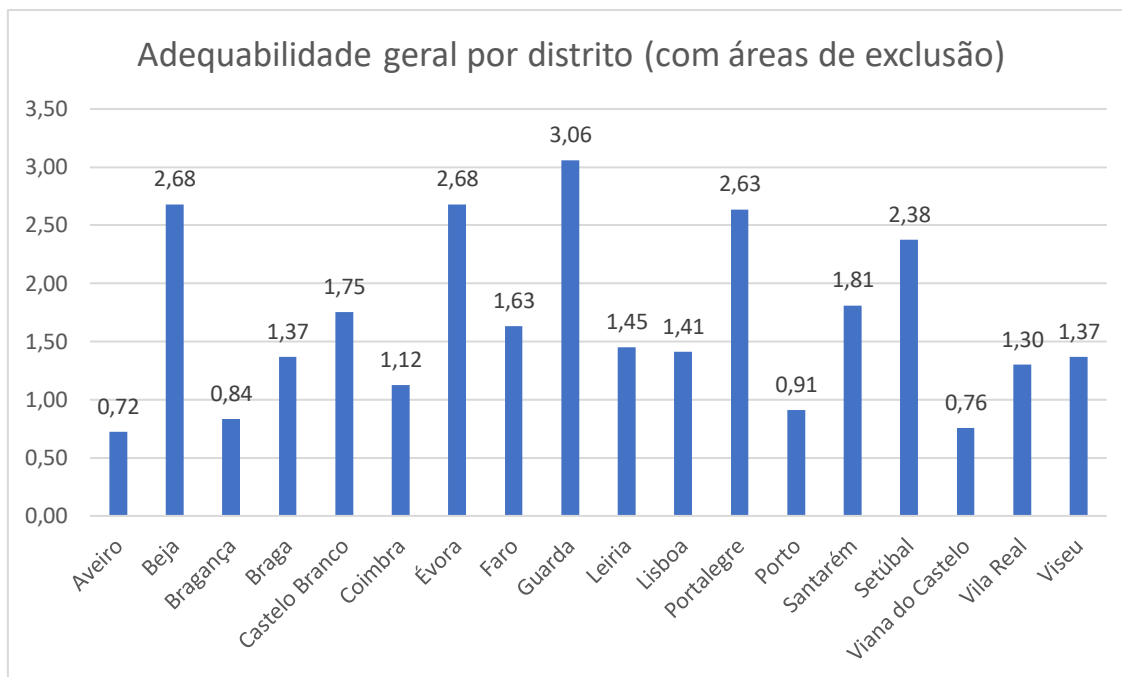


Figura 5.2.3 – Classificação com áreas de exclusão de cada distrito para o cenário técnico

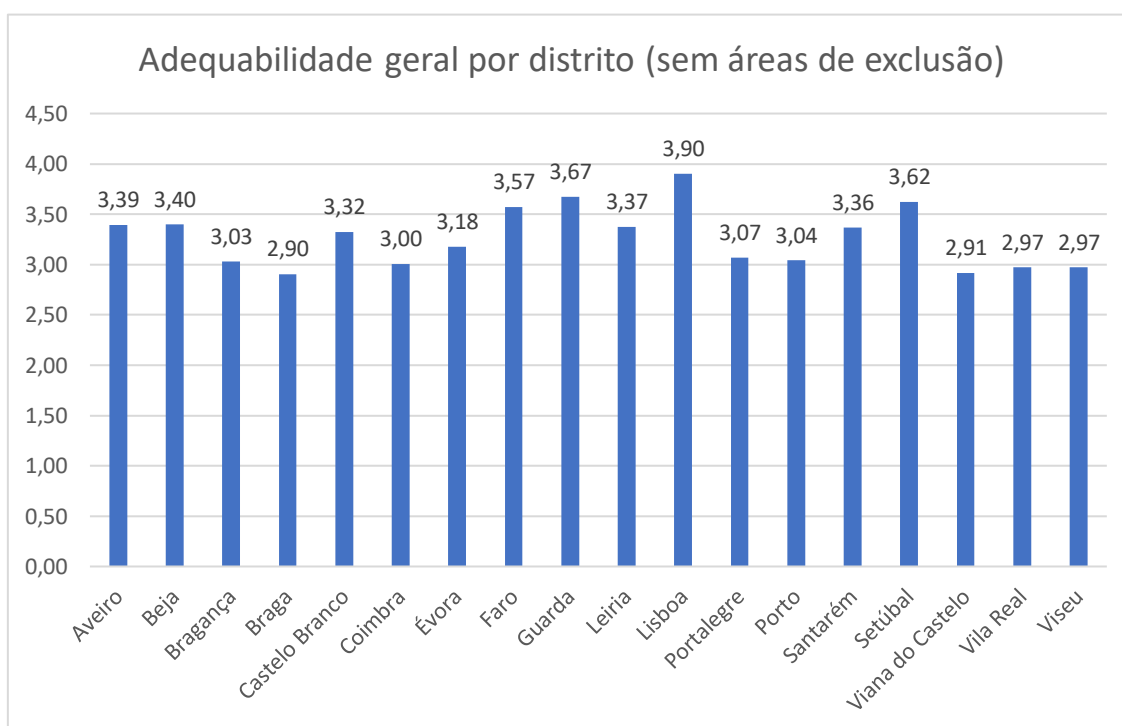


Figura 5.2.4 - Classificação sem áreas de exclusão de cada distrito para o cenário técnico

Similarmente ao que foi observado no cenário de pesos iguais, é possível constatar-se que as classificações com áreas de exclusão são mais heterogêneas do que as classificações gerais sem áreas de exclusão, sendo que para a classificação com as áreas de exclusão, registou-se um intervalo de classificações mais otimizado quando comparado com o que foi observado no cenário de pesos iguais situando-se agora entre os **0.72 e os 3.06** tal como se pode observar na Figura 5.2.3. Quanto aos distritos com melhor classificação destacam-se os distritos da **Guarda, Évora e Beja** com uma classificação de **3.06, 2.68 e 2.68** respetivamente, enquanto que os distritos do **Porto, Viana do Castelo e Aveiro** com as piores classificações de **0.91, 0.76 e 0.72** respetivamente.

Quando observada a Figura 5.2.4, constata-se que os distritos com melhores classificações são os distritos de **Lisboa, Guarda e Setúbal** com classificações de **3.90, 3.67 e 3.62** respetivamente. Esta classificação mais elevada, deve-se ao facto de nos distritos de **Setúbal e Lisboa**, serem distritos com elevada aptidão no que concerne a **características climáticas**. É ainda importante referir que são distritos onde a **densidade populacional e industrial é bastante elevada**, bem como são distritos onde se encontram **várias linhas de tensão da rede de transporte de energia, com uma boa rede viária ao longo destes distritos**. Quanto ao caso do distrito da **Guarda**, deve-se maioritariamente, pelo facto de este distrito ter sido classificado com um nível **elevado de irradiação** e por ser um **distrito próximo das redes de transporte de energia**. Esta classificação prende-se também ao facto de este, ser um distrito onde há poucas ocorrências de áreas classificadas pelo que todos estes fatores no seu conjunto levaram à so-brevalorização deste distrito.

Por outro lado, na Figura 5.2.4, regista-se também que os distritos com pior classificação são os distritos de **Viseu, Braga, Vila Real, Viana do Castelo e Braga** com classificações de **2.97, 2.97, 2.91 e 2.90**. As piores classificações, prendem-se ao facto de serem distritos onde a intensidade da **irradiação solar era mais reduzida** do que os que foram registados nos distritos a Sul de Portugal, bem como são áreas com **declives acentuados e com áreas classificadas significativas**.

De seguida na Tabela 5.2.3 e nas Figura 5.2.5 e Figura 5.2.6 serão representados os resultados obtidos no cenário ambiental.

Tabela 5.2.3 - Resultados obtidos no cenário ambiental

<i>Distritos</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>Classificação (com áreas de exclusão)</i>	<i>Classificação (sem áreas de exclu- são)</i>
<i>Aveiro</i>	79%	0%	12%	1%	9%	0.61	2.85
<i>Beja</i>	21%	0%	39%	2%	39%	2.37	3.00
<i>Bragança</i>	72%	0%	11%	5%	4%	0.53	2.65
<i>Braga</i>	53%	0%	27%	19%	1%	1.16	2.46
<i>Castelo Branco</i>	47%	0%	26%	3%	24%	1.55	2.94
<i>Coimbra</i>	63%	0%	27%	2%	9%	0.94	2.53
<i>Évora</i>	16%	0%	43%	3%	39%	2.50	2.96
<i>Faro</i>	54%	0%	16%	1%	28%	1.49	3.26
<i>Guarda</i>	34%	0%	27%	17%	21%	1.92	2.91
<i>Leiria</i>	57%	0%	24%	2%	17%	1.22	2.85
<i>Lisboa</i>	64%	0%	7%	0%	28%	1.29	3.58
<i>Portalegre</i>	14%	0%	43%	2%	41%	2.56	2.98
<i>Porto</i>	70%	0%	23%	1%	6%	0.74	2.45
<i>Santarém</i>	46%	0%	39%	1%	14%	1.37	2.55
<i>Setúbal</i>	34%	0%	33%	1%	31%	1.95	2.97
<i>Viana do Castelo</i>	74%	0%	21%	2%	3%	0.60	2.31
<i>Vila Real</i>	56%	0%	16%	25%	3%	1.18	2.71
<i>Viseu</i>	54%	0%	13%	29%	4%	1,30	2,82

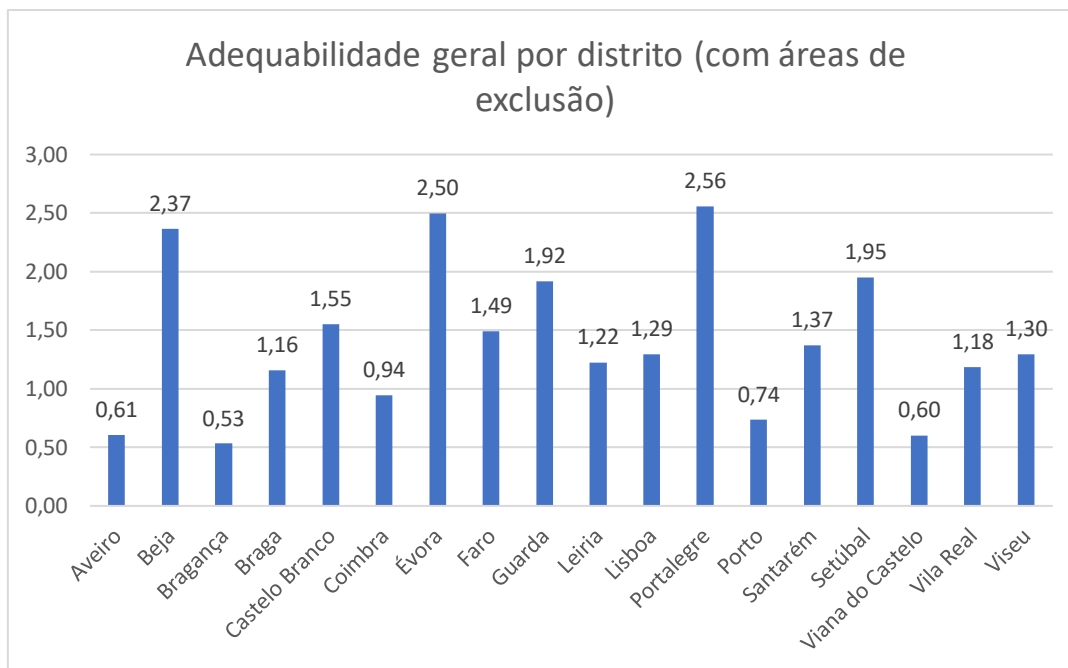


Figura 5.2.5 - Classificação com áreas de exclusão para o cenário ambiental

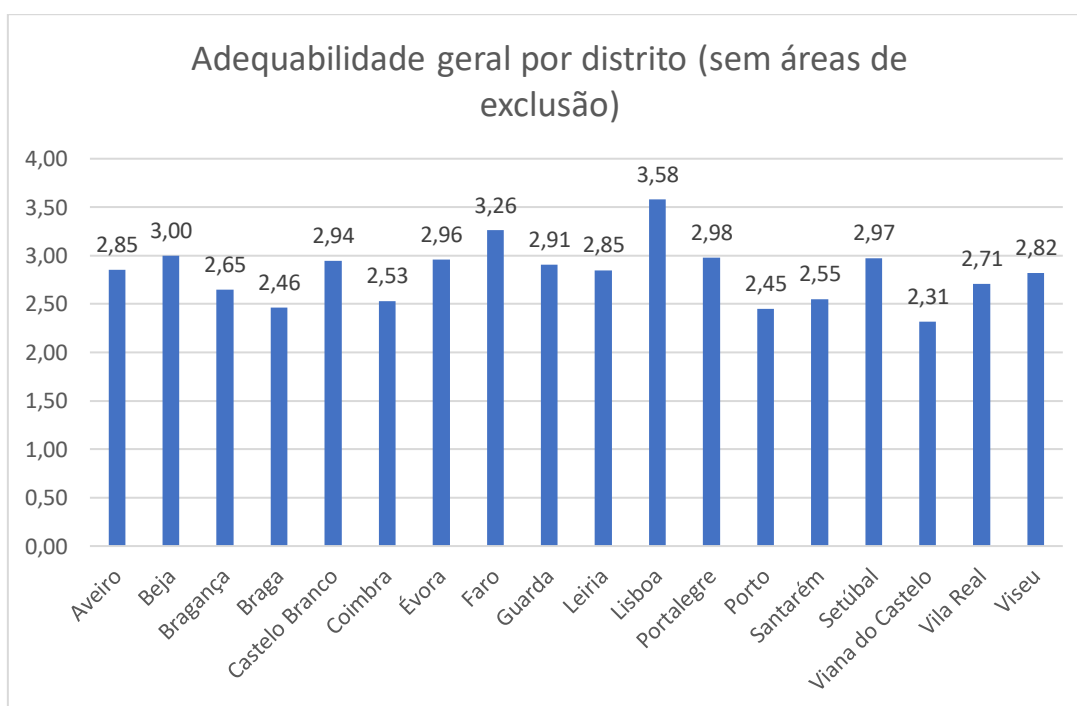


Figura 5.2.6 - Classificação sem áreas de exclusão para o cenário ambiental

Quando analisado o cenário ambiental, é possível constatar-se que as classificações com áreas de exclusão são mais heterogêneas do que as classificações sem áreas de exclusão, sendo que para a classificação geral foi observado um intervalo de valores entre os **0.60 e os 2.56** tal como se pode observar na Figura 5.2.5. Quanto aos distritos com melhor classificação destacam-se os distritos da **Portalegre, Évora e Beja** com uma classificação de **2.56, 2.50 e 2.30** respetivamente, enquanto que os distritos do **Porto, Viana do Castelo e Aveiro** com as piores classificações de **0.74, 0.61 e 0.60** respetivamente.

Quando observada a Figura 5.2.6, constata-se que o intervalo de valores de classificação situa-se entre os **2.31 e 3.58** sendo que os distritos com melhores classificações são os distritos de **Lisboa, Faro e Beja**, com classificações de **3.58, 3.26 e 3** respetivamente. Quanto ao caso de **Lisboa**, esta classificação deve-se ao facto de ser um distrito com **boas características climáticas**, onde **não ocorre uma área significativa de áreas classificadas**, beneficiando também do facto de se registar uma **elevada densidade doméstica e industrial**. Quanto ao caso de **Faro**, esta classificação deve-se ao facto de existirem poucas áreas classificadas, bem como é um distrito onde as características climáticas potenciam a exploração de energia solar. Quanto ao caso de **Beja**, como se pode observar na Tabela 5.2.3, apesar de ainda possuir uma área classificada significativa, a restante é classificada maioritariamente com adequabilidade muito elevada, visto que parâmetros como a distância à rede de transporte de energia e a distância à rede viária, são parâmetros com menor peso num cenário ambiental, levando assim à sobrevalorização deste distrito.

Por outro lado, na Figura 5.2.6, regista-se também que os distritos com pior classificação são os distritos de **Braga, Porto e Viana do Castelo**, com classificações de **2.46, 2.45 e 2.31**. Estas piores classificações, justificam-se pela **presença significativas de áreas classificadas**, com a agravante de parâmetros como a distância à rede de transporte de energia e à rede viária terem menor peso do que nos cenários anteriores e de possuírem a classificação de adequabilidade elevada no parâmetro da irradiação, levando assim a uma subvalorização da adequabilidade da CSFV nestes distritos para este tipo de cenário.

5.3 Cartas de rendibilidade

Como foi referido no Capítulo 4.5, foram procedidas várias simulações onde foi variada a potência instalada. Como tal, na Tabela 5.3.1, encontra-se demonstrado a variação dos indicadores económicos para uma mesma coordenada. A coordenada escolhida, situa-se em Valverde, próximo da cidade distrito de Évora.

Tabela 5.3.1 - Variação dos indicadores económicos para uma mesma localização (coordenada nº.105)

Potência Instalada na CSFV	TIR	PRI (anos)	VAL (milhões de €)	LCOE (€/MWh)	Preço de venda à rede (€/MWh)	Custo de instalação (€/kWp)
50 MWp	12,41%	8	17,54 €	10,477 €	25	0,600
100 MWp	11,24%	9	27,68	10,442 €	23	0,598
250 MWp	10,06%	9	50,92	10,390 €	21	0,595
500 MWp	9,53%	10	85,33	10,303 €	20	0,59

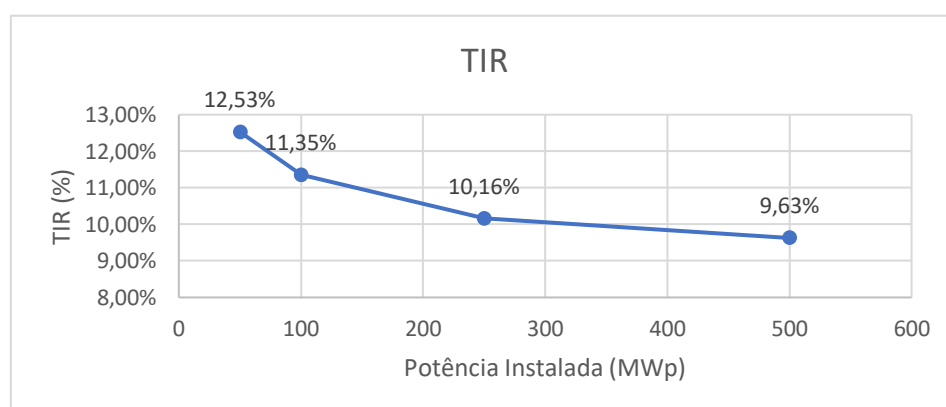


Figura 5.3.1 - Evolução do indicador TIR, consoante a variação da potência instalada

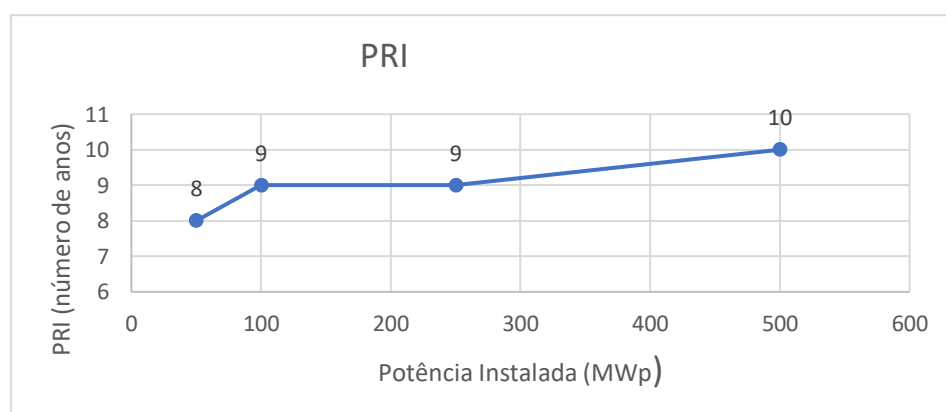


Figura 5.3.2 - Evolução do indicador PRI, consoante a variação da potência instalada

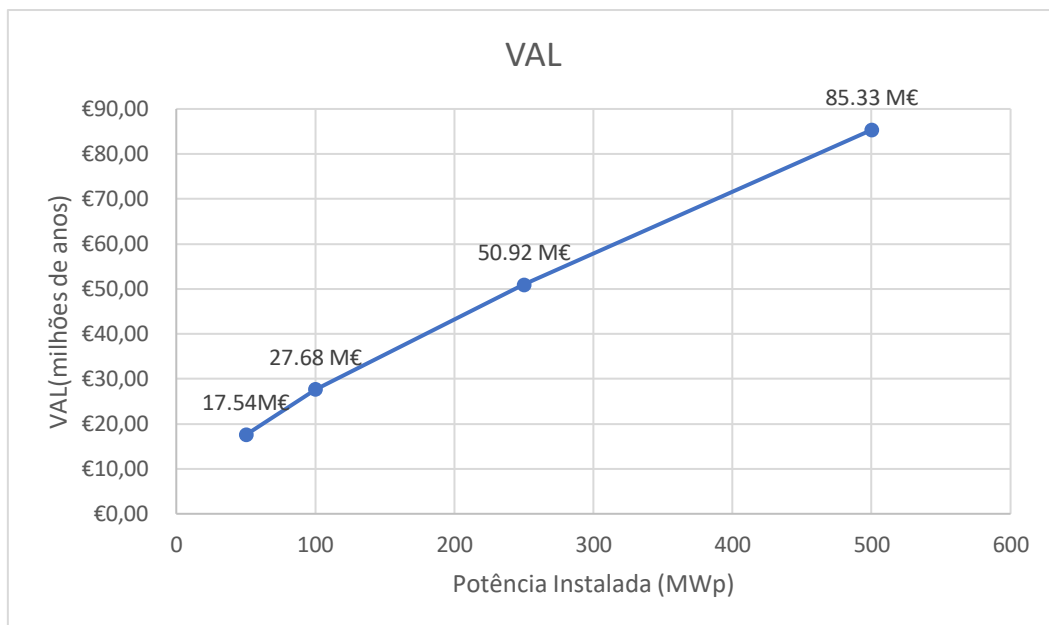


Figura 5.3.3 - Evolução do indicador VAL, consoante a variação da potência instalada

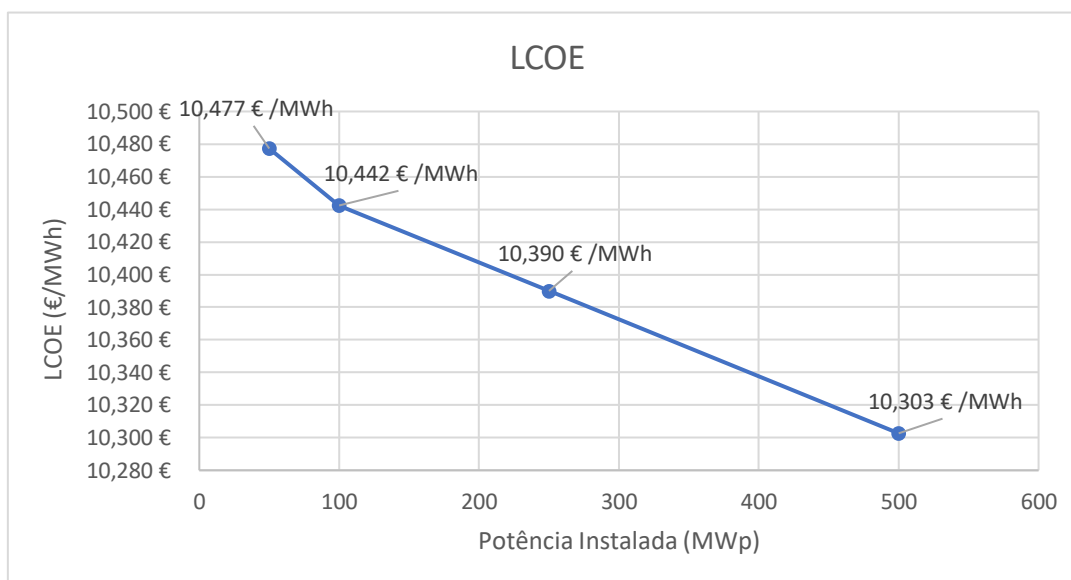


Figura 5.3.4 - Evolução do indicador LCOE, consoante a variação da potência instalada

Em suma, analisando as figuras anteriores é possível inferir-se que a variação com melhor relação custo oportunidade para os indicadores VAL e TIR ocorreu quando a potência foi variada entre os **50 MWp** e os **100 MWp**. Por outro lado, para o indicador LCOE, regista-se que a maior variação do preço de instalação ocorre entre os **250 MWp** e os **500 MWp**. Em anexo, encontram-se mapeados os indicadores VAL, TIR e LCOE para as potências instaladas de 100 MWp, 250MWp e 500 MWp. Analisando estas figuras é possível constatar que independentemente da variação da potência o tipo de resultado obtido é **sempre idêntico ao que foi observado para uma potência instalada de 50 MWp**, sendo que em cada coordenada a variação dos indicadores económicos comporta-se de forma semelhante ao que foi observado na coordenada 105.

6 Conclusões finais e trabalhos futuros

6.1 Conclusões finais

A presente dissertação pretendia demonstrar a importância do desenvolvimento do modelo SIG para a seleção de locais de CSFV. Com efeito, o presente modelo SIG fornece uma nova metodologia e uma ferramenta para a seleção de melhores locais para a instalação deste tipo de infraestruturas. Este modelo SIG, é um passo em frente nos estudos de seleção de locais para CSFV dado que até ao momento não se tem conhecimento de nenhum trabalho desenvolvido, especificamente quando abordada a dimensão económica neste tipo de análise. Com esta dissertação, a metodologia apresentada permitiu:

- Uma avaliação da adequação do meio à instalação de uma Central Solar Fotovoltaica (CSFV);
- Fomentar a seleção dos locais com base nos objetivos determinados inicialmente;
- Tornar o processo de seleção reproduzível para diferentes cenários de localização;
- Contribuir para a eficácia e sucesso do processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) subsequente;
- Validar ou aferir sobre a adequabilidade de locais já definidos e contribuir para a adoção de medidas de mitigação em termos de ordenamento do território e desenvolvimento sustentável;
- Introduzir uma dimensão económica à análise deste tipo de projetos.

Observando as cartas de adequabilidade, é possível concluir-se que o **cenário de pesos idênticos** é o cenário onde tanto como na perspetiva do investidor, como na perspetiva ambientalista, **não é o melhor cenário** a analisar-se, dado que o resultado deste mapa é bastante homogêneo, pelo que **não é possível** tecer conclusões quanto à escolha de melhores locais para a construção de uma CSFV. De forma a ser possível heterogeneizar este cenário deve ser analisada a **classificação com áreas de exclusão**, porém para os outros cenários este não é o melhor método dado a distorção provocada pela percentagem de áreas de exclusão. Contudo, este cenário permite retirar-se a conclusão, de uma forma generalizada, que Portugal Continental possui uma adequabilidade elevada dadas as suas características locais.

Quando conciliado o **cenário técnico** e o **cenário ambiental**, foi possível constatar-se que em termos de classificação sem áreas de exclusão, os distritos com melhores classificações são os distritos de **Lisboa, Faro e Setúbal**, enquanto que os piores distritos são os de **Braga, Viana do Castelo e Vila Real**.

Ainda dentro da carta de adequabilidade, contrariamente ao que seria expectável inicialmente, os distritos de **Évora e Beja** não conseguiram obter maioritariamente a classificação de

adequabilidade muito elevada, no cenário técnico pois apesar de serem locais onde se registaram classificações de adequabilidade muito elevada no parâmetro irradiação solar, nestes distritos **não lhes são proporcionados condições técnicas** (nomeadamente a distância às linhas de transporte de energia e rede viária) aceitáveis para uma melhor exploração deste recurso nestes distritos. Adicionalmente, são distritos onde a **densidade populacional é bastante baixa** e a principal actividade económica destes distritos é a agricultura, pelo que a **densidade industrial** é similarmemente bastante baixa nestas regiões, justificando-se assim a deterioração da adequabilidade para a construção de uma CSFV nestes distritos. Na Tabela 6.1.1 apresenta-se uma súmula dos locais avaliados anteriormente por adequabilidade.

Com esta dissertação ao conciliar-se os mapas de adequabilidade e rendibilidade, conclui-se que dadas as características geográficas e cartas de rendibilidade, que as melhores localizações para se instalar uma CSFV, localizam-se a **Sul de Portugal Continental**, nomeadamente na região Sudoeste, pois estes são os locais onde foi possível maximizar os indicadores económicos junto à maximização da adequabilidade de um determinado local. Em suma, de uma forma generalizada, foi possível inferir que o território de Portugal Continental, dispõe de um elevado potencial de exploração em termos de energia solar, que melhor aproveitado contribuirá para redução da dependência energética dos combustíveis fósseis.

Devido à indisponibilidade de dados, não foi possível tecer-se **análises mais pormenorizadas**, pois tal como ocorreu com parâmetros como a humidade relativa e a exposição solar onde os dados encontravam-se desatualizados e com áreas onde não existiam dados (no caso da humidade relativa). Conclui-se também que de forma a obter-se resultados com um elevado pormenor, deve-se analisar as áreas a **escalas menores**, de forma a ser analisado com melhor detalhe o efeito do sombreamento no local. Caso seja recorrido a escalas menores, será de uma elevada utilidade recorrer-se a um modelo digital de superfície (MDS), que inclua os dados relativamente a altura dos edifícios, o que tornaria o modelo mais robusto, principalmente nas áreas urbanas, dado que os edifícios criam áreas sombreadas significativas, onde o MDT, por si só, não permite a sua quantificação.

Infere-se também que este tipo de análises não é autossuficiente para se proceder ao dimensionamento de uma CSFV, continuando assim a ser necessária uma análise *in situ* de forma a ser possível obter um cenário bastante pormenorizado.

Em relação a outros métodos de análise multicritério, é possível inferir que a análise hierárquica é o melhor método a ser implementado para este tipo de estudos, pois apesar de a consistência hierárquica ser mais difícil de atingir quando implementados bastantes critérios, a consistência deste tipo de procedimento consegue ser medido com uma forte aplicabilidade simultaneamente para critérios quantitativos e qualitativos sendo que o processo de análise hierárquica é um bom método de análise de problemas complexos tanto na teoria como na prática.

Tabela 6.1.1 - Tabela síntese das classificações atribuídas aos distritos

<i>Distrito</i>	<i>Classificação</i>	<i>Fatores Positivos</i>	<i>Fatores Negativos</i>
<i>Braga,</i> <i>Viana do Castelo</i> <i>Vila Real.</i>	Adequabilidade Moderada	<ul style="list-style-type: none"> • Distritos com boa disponibilidade de água; • Irradiação solar disponível suficiente para a instalação de uma CSFV; • Elevada densidade de consumidores do setor industrial. • Distância reduzida à rede de transporte de energia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Distritos com uma geomorfologia maioritariamente muito inclinada; • Ocorrência de áreas classificadas com uma área bastante significativa • Distritos com menor exposição solar quando comparados com outros distritos; • Baixa densidade de consumidores do setor doméstico.
<i>Lisboa,</i> <i>Faro</i> <i>Setúbal</i>	Adequabilidade Elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada densidade de consumidores do setor industrial e doméstico; • Elevada intensidade de irradiação solar • Elevado número de horas de sol por ano; • Distância reduzida à rede de transporte de energia • Próximo da rede viária • Ocorrência de áreas classificadas com uma área pouco significativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Terrenos com alguma inclinação; • Ocorrência de áreas classificadas com uma área pouco significativa;
<i>Évora</i> <i>Beja</i>	Adequabilidade Elevada	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada intensidade de irradiação solar • Elevado número de horas de sol por ano; • Distritos com terrenos tendencialmente planos 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa densidade de potenciais consumidores (tanto industriais como domésticos) • Fraca densidade da rede viária • Fraca densidade da rede de transporte de energia • Ocorrência de áreas classificadas com alguma área significativa • Fraca disponibilidade de água

6.2 Trabalhos futuros

Dentro desta dissertação, dadas as conclusões finais retiradas, é agora proposto a seguinte lista de trabalhos futuros:

Análise e avaliação mais pormenorizada ao parâmetro de exclusão distância a fábricas com emissão de gases poluentes, de forma a ser inferido se este deve ser ou não um critério de exclusão.

Propõe-se que este tipo **sistema de apoio à decisão seja automatizado**, ou seja, propõe-se que para este tipo de modelos as **tabelas sejam dinâmicas** e não do tipo estático como o modelo apresentado nesta dissertação. Por outras palavras propõe-se que seja feita uma automação da análise dos dados, de forma a ser possível uma **fácil e rápida atualização** dos parâmetros, mais especificamente dados cuja origem seja **climática ou económica**. Ainda dentro desta vertente, propõe-se que este modelo seja colocado numa **plataforma de acesso aberto**.

Dadas as conclusões retiradas para o distrito de Évora e Beja, propõe-se também que seja estudado os efeitos que poderão surgir de um **possível alargamento da rede de transporte de energia** utilizando este modelo para o efeito. De forma a proporcionar um modelo mais completo, propõe-se que seja estudado o efeito da **aplicação de diferentes tecnologias**, de forma a ser possível analisar quais os efeitos do clima sobre este tipo de projetos, bem como seja possível analisar quais os seus efeitos na rendibilidade do projeto. Propõe-se também que seja procedida a uma **análise de sensibilidades**, de forma a ser avaliado o risco de variação de irradiação possível de se explorar.

Por fim, propõe-se que seja formulado o mesmo tipo de modelos, mas que estes sejam aplicados a **diferentes tipos de energia renovável**, de forma a incentivar o recurso de sistemas de energia renovável onde o investidor consiga analisar qual o melhor tipo de energia renovável a utilizar consoante o espaço envolvente onde se insere, de forma a ser possível auxiliar um desenvolvimento mais sustentável.

Referências Bibliográficas

- Akalu, M. M. (2001). Re-examining project appraisal and control: developing a focus on wealth creation. *International Journal of Project Management*, 19(7), 375–383. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(00\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(00)00019-3)
- Alami Merrouni, A., Elwali Elalaoui, F., Ghennioui, A., Mezrhab, A., & Mezrhab, A. (2018). A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco. *Solar Energy*, 166(September 2017), 2–12. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.038>
- Alami Merrouni, A., Elwali Elalaoui, F., Mezrhab, A., Mezrhab, A., & Ghennioui, A. (2018). Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. *Renewable Energy*, 119, 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.044>
- Almeida, J. (2018). *Geoestatística e Tratamento de Dados Textos e Exercícios com R* (Universida). Lisboa.
- Aly, A., Jensen, S. S., & Pedersen, A. B. (2017). Solar power potential of Tanzania: Identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. *Renewable Energy*, 113, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.077>
- APA. (2019). Visualizador SNIAmb. Retrieved July 13, 2019, from <https://sniamb.apambiente.pt/content/geo-visualizador?language=pt-pt/>
- Brito, G., Lopes, M., Costa, C. N., Almeida, J. A., & Vendas, D. F. (2005). *Cartografia de riscos de contaminação de solos e águas subterrâneas: alguns exemplos*. Lisboa.
- Burrough, P. A. ., & McDonnel, R. A. (1996). Principles of Geographic Information System.pdf, 38.
- Caetano, P. S., Vendas, D. F., Costa, C. N., Verdial, P. H., & Brito, G. (2005). *Cartografia de riscos na seleção de locais para aterros de resíduos: alguns exemplos*. Lisboa.
- Casaro, M. M., & Martins, D. C. (2010). Processamento eletrônico da energia solar fotovoltaica em sistemas conectados à rede elétrica. *Control y Automacao*, 21(2), 159–172. <https://doi.org/10.1590/s0103-17592010000200005>
- Commission, I.-I. E. (2019). Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary. Retrieved March 4, 2019, from <http://www.electropedia.org>
- Diário da República. (2007). Decreto-Lei n.º 363/2007; Ministério da Economia e da Inovação, 7978–7984.
- Diário da República. (2011). Decreto-Lei n.º 34/2011 de 8 de Março; Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, 1316–1325.
- Diário da República. (2012). Decreto-Lei n.º 239/2012 de 2 de Novembro; Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território.
- Diário da República. (2014). Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de Outubro; Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e Energia, 5298–5311.
- Diário da República. (2015a). *Decreto-Lei n.º 199/2015 de 16 de Setembro; Ministério da Agricultura e do Mar*.
- Diário da República. (2015b). Decreto-Lei n.º 242/2015 de 15 de Outubro de 2015; Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia.
- Domínguez Bravo, J. (2002). *La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas de información geográfica*. (Universida). *Departamento de Geografía Humana*. Madrid. Retrieved from <http://biblioteca.ucm.es/tesis/ghi/ucm-t26315.pdf>
- Doorga, J. R. S., Rughooputh, S. D. D. V., & Boojhawon, R. (2019). Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: A case study in Mauritius. *Renewable Energy*, 133, 1201–1219. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.105>
- ESRI. (2009). Digital Terrain Model Portugal (ETRS89). Retrieved March 25, 2019, from <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=f80bcdbe65a048a78115f8ae9091eb>
- ESRI. (2017). Cost Distance. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cost-distance.htm>
- EU Science Hub. (2019). Photovoltaic Geographical Information System. Retrieved March 18,

- 2019, from https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- Ferreira, A. M. P. J. (2000). *"Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional"*. Universidade de Aveiro.
- Giamalaki, M., & Tsoutsos, T. (2019). Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using a GIS/AHP approach. *Renewable Energy*, 141, 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.100>
- Gracia, A. M., & Huld, T. (2013). *Performance comparison of different models for the estimation of global irradiance on inclined surfaces: Validation of the model implemented in PVGIS. JRC Technical Reports*. <https://doi.org/10.2790/91554>
- Huld, T., Friesen, G., Skoczek, A., Kenny, R. P., Sample, T., Field, M., & Dunlop, E. D. (2011). A power-rating model for crystalline silicon PV modules. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(12), 3359–3369. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2011.07.026>
- INE. (2011). Censos 2011 - Importação dos principais dados alfanuméricos e geográficos (BGRI). Retrieved from <http://mapas.ine.pt/download/index2011.phtml>
- Internacional Finance Corporation. (2015). *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants*.
- IPMA. (2012). Duração total da insolação solar (horas). Retrieved from <http://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/index.jsp?selTipo=m&selVar=su&selAno=-1>
- Lenardic, D. (2019). Large-Scale PV Power Plants - Top50. Retrieved March 7, 2019, from <http://www.pvresources.com/en/pvpowerplants/top50pv.php>
- Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B., & Kang, Y. (2008). A variable step size INC MPPT method for PV systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(7), 2622–2628. <https://doi.org/10.1109/TIE.2008.920550>
- LNEG. (2010). Carta Geológica de Portugal à escala 1:1 000 000. Retrieved from <http://geoportal.lneg.pt/metadados/catalog/search/resource/details.page?uuid=2fdd6f8ceb7f427f8e57d6fcb992282c>
- Masson, G., Orlandi, S., & Reikinger, M. (2007). *Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018*. (T. Rowe, Ed.), *Global Market Outlook* (Vol. 18). Sweden. <https://doi.org/10.1007/s10854-007-9177-9>
- Matos, J. L. (2001). *Fundamentos de Informação Geográfica* (Lidel-ed). Lisboa.
- Noorollahi, E., Fadaei, D., Shirazi, M. A., & Ghodsipour, S. H. (2016). Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) - A case study of Iran. *Energies*, 9(8), 1–24. <https://doi.org/10.3390/en9080643>
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., & Heath, G. (2013). *Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States. NREL/TP-6A20-56290*. Retrieved from <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56290.pdf>
- Palmer, D., Gottschalg, R., & Betts, T. (2019). The future scope of large-scale solar in the UK: Site suitability and target analysis. *Renewable Energy*, 133, 1136–1146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.109>
- Perumal, M., Velumani, B., & Sadhasivam, A. (2015). Spatial Data Mining approaches for GIS – A brief review for GIS – A Brief Review, (February 2016). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13731-5>
- Pili, S., Desogus, G., & Melis, D. (2018). A GIS tool for the calculation of solar irradiation on buildings at the urban scale, based on Italian standards. *Energy and Buildings*, 158, 629–646. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.027>
- Polo, M. E., Pozo, M., & Quirós, E. (2018). Circular Statistics Applied to the Study of the Solar Radiation Potential of Rooftops in a Medium-Sized City. *Energies*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/en11102813>
- Portal Energia - Energias Renováveis. (2019). Leilão solar em Portugal abala Europa e afunda preço da eletricidade. Retrieved from <https://www.portal-energia.com/leilao-solar-portugal-afunda-preco-eletricidade-147475>
- Programa Alternativo. (2004). *Energia Fotovoltaica - manual sobre tecnologias, projecto e instalação* (Europa: Co).
- Ribeiro, O. (1987). *Portugal, o Mediterrâneo e o Atlântico*. (C. Editora, Ed.) (5ª edição). Coimbra.
- SNIRH. (2019). Redes de Monitorização. Retrieved June 2, 2019, from <https://snirh.apambiente.pt/>
- Solargis. (2016). Solargis Solar Resource Database Description and Accuracy SOLAR. *Solargis*, (October), 1–36. Retrieved from <https://solargis2-web-assets.s3.eu-west-1.amazonaws.com/public/doc/d143113beb/Solargis-database-description-and-accuracy->

- Tavana, M., Santos Arteaga, F. J., Mohammadi, S., & Alimohammadi, M. (2017). A fuzzy multi-criteria spatial decision support system for solar farm location planning. *Energy Strategy Reviews*, 18, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.003>
- United Nations. (1987). Brundtland Report: Our Common Future. In *Our Common Future* (p. 318). Brundtland.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>
- Yunna, W., & Geng, S. (2014). Multi-criteria decision making on selection of solar-wind hybrid power station location: A case of China. *Energy Conversion and Management*, 81, 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.056>
-

Anexos

Índice de Tabelas em Anexo

TABELA ANEXO 1 - CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA AOS PARÂMETROS DE ADEQUABILIDADE DESTE MODELO (GRUPO 1).	2
TABELA ANEXO 2 - CLASSIFICAÇÃO ATRIBUÍDA AOS PARÂMETROS DE ADEQUABILIDADE DESTE MODELO (GRUPO 2).	2
TABELA ANEXO 3 – PESOS ATRIBUÍDOS A CADA TIPO DE DESCRITOR NUMA PERSPETIVA TECNO-ECONÓMICA (EM VALOR DECIMAL)	3
TABELA ANEXO 4 - PESOS ATRIBUÍDOS A CADA TIPO DE DESCRITOR NUMA PERSPETIVA AMBIENTAL (EM VALOR DECIMAL)	4
TABELA ANEXO 5 – HIERARQUIZAÇÃO ATRIBUÍDA POR VÁRIOS AUTORES NUMA PERSPETIVA TÉCNICA	4
TABELA ANEXO 6 - HIERARQUIZAÇÃO ATRIBUÍDA POR VÁRIOS AUTORES NUMA PERSPETIVA AMBIENTAL.....	4

Índice de Figuras em Anexo

FIGURA ANEXO 1 - MAPA DA REDE DE TRANSPORTE DE ENERGIA SEGUNDO A REN	5
FIGURA ANEXO 2 - MAPA DO INDICADOR LCOE PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 100 MWP	6
FIGURA ANEXO 3 - MAPA DA REDE DE TRANSPORTE DE ENERGIA SEGUNDO A REN	7
FIGURA ANEXO 4 - MAPA DO INDICADOR TIR PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 100 MWP	7
FIGURA ANEXO 5 - MAPA DO INDICADOR VAL PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 100 MWP	8
FIGURA ANEXO 6 - MAPA DO INDICADOR LCOE PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 250 MWP	9
FIGURA ANEXO 7 - MAPA DO INDICADOR TIR PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 250 MWP	10
FIGURA ANEXO 8 - MAPA DO INDICADOR VAL PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 250 MWP	11
FIGURA ANEXO 9 - MAPA DO INDICADOR LCOE PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 500 MWP	12
FIGURA ANEXO 10 - MAPA DO INDICADOR TIR PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 500 MWP	13
FIGURA ANEXO 11 - MAPA DO INDICADOR VAL PARA UMA POTÊNCIA INSTALADA DE 500 MWP	14

Tabela Anexo 1 - Classificação atribuída aos parâmetros de adequabilidade deste modelo (Grupo 1)

Valor Escalar	Descrição da classe	Uso do Solo	Densidade populacional	Distância a Indústrias	Distância à Rede de Transporte de Energia	Temperatura média diária	Declive	Orientação	Altitude
0	Não adequado	Dentro de áreas classificadas		< 3 Km Ou > 45 Km	> 50 km	> 24,7 °C	> 28 %	N	> 1500 m
1	Reduzida	NA		[30;45] Km	[20;50] Km	[23,6;24,7] °C	[21;28] %	NE ou NW	[1100;1500] m
2	Moderada	NA		[15;30] Km	[15;20] Km	[22;23,6] °C	[14;21] %	E ou W	[700;1100] m
3	Elevada	NA		[10;15] Km	[5;15] Km	[20,9;22] °C	[7;14] %	SW OU SE	[300;700] m
4	Muito elevada	Fora de áreas classificadas		[3;10] Km	< 5 km	[20,9;19,8] °C	< 7%	S	< 300 m
Ref. Bibliográfica	NA	(Diário da República, 2015b)	NA	(Noorollahi et al., 2016)	(Noorollahi et al., 2016)	(Doorga et al., 2019)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019);(Doorga et al., 2019),	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)

Tabela Anexo 2 - Classificação atribuída aos parâmetros de adequabilidade deste modelo (Grupo 2)

Valor Escalar	Descrição da classe	Distância a corpos de água (perspetiva ambiental)	Distância a corpos de água (perspetiva técnica)	Exposição Solar	Irradiação Solar	Humidade Relativa	Distância a estradas e acessos
0	Não adequado	< 100 m	> 15 km	< 2148 horas de sol por ano	> 1951 KWh/m²/ano	> 83 %	> 10 km
1	Reduzida	[100;200] m	NA	[2148;2340] horas de sol por ano	[1951;2100] KWh/m²/ano	[60;83] %	[6;10] Km
2	Moderada	[200;300] m	[10;15] km	[2340;2460] horas de sol por ano	[2100;2300] KWh/m²/ano	[42;60] %	[4;6] Km
3	Elevada	[300;400] m	[5;10] km	[2460; 2700] horas de sol por ano	[2300;2500] KWh/m²/ano	[35; 42] %	[2;4] Km
4	Muito elevada	> 400 m	< 5 km	> 2700 horas de sol por ano	> 2500 KWh/m²/ano	< 35 %	< 2 Km
Ref. Bibliográfica	NA	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018)	Adaptado de (Giamalaki & Tsoutsos, 2019)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Mezrhah, et al., 2018)	(Noorollahi et al., 2016)	(Doorga et al., 2019)

Tabela Anexo 3 – Pesos atribuídos a cada tipo de descritor numa perspectiva tecno-económica (em valor decimal)

Símbolo	CrITÉRIOS	(Tavana, Santos Arteaga, Mohammadi, & Alimohammadi, 2017)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018)	(Doorga et al., 2019)	(Aly et al., 2017)
A	Potenciais consumidores	0,185	0,048	x	0,045
B	Uso do solo	0,309	x	x	x
C	Distância à Rede de Transporte de Energia	0,11	0,033	0,093	0,089
D	Distância a Estradas e Acessos	0,08	0,023	0,065	0,045
E	PR	x	x	x	x
F	Indicadores Económicos	x	x	x	x
G	Temperatura no Ar	x	x	0,033	x
H	Declive	x	0,255	0,194	x
I	Orientação	x	x	0,046	x
J	Atitude	x	x	0,021	x
L	Disponibilidade de água	x	0,053	x	0,203
M	Irradiação Solar	0,315	0,588	0,401	0,618
N	Exposição Solar	x	x	0,131	x
O	Humidade Relativa	x	x	0,016	x

Tabela Anexo 4 - Pesos atribuídos a cada tipo de descritor numa perspectiva ambiental (em valor decimal)

Símbolo	Critérios	(Noorollahi et al., 2016)	(Aly et al., 2017)	(Uyan, 2013)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)
A	Potenciais consumidores	0,081	x	0,1375	x
B	Uso do solo	0,07	x	0,4125	0,17
C	Distância à Rede de Transporte de Energia	0,112	0,093	0,337	x
D	Distância a Estradas e Acessos	0,088	0,065	0,032	x
E	PR	x	x	x	x
F	Indicadores Económicos	x	x	x	x
G	Temperatura no Ar	0,071	0,033	x	x
H	Declive	0,08	0,194	0,081	0,17
I	Orientação	x	0,046	x	0,17
J	Atitude	0,081	0,021	x	0,17
L	Disponibilidade de água	x	x	x	0,17
M	Irradiação Solar	0,275	0,401	x	0,17
N	Exposição Solar	0,077	0,131	x	x
O	Humidade Relativa	0,065	0,016	x	x

Tabela Anexo 5 – Hierarquização atribuída por vários autores numa perspectiva técnica

Referências bibliográficas	(Tavana et al., 2017)	(Alami Merrouni, Elwali Elalaoui, Ghennioui, et al., 2018)	(Doorga et al., 2019)	(Aly et al., 2017)
Ordem de preferência	M-B-A-C-D	M-H-L-A-C-D	M-H-N-C-D-I-G-J-O	M-L-C- AD

Tabela Anexo 6 - Hierarquização atribuída por vários autores numa perspectiva ambiental

Referências bibliográficas	(Noorollahi et al., 2016)	(Aly et al., 2017)	(Uyan, 2013)	(Giamalaki & Tsoutsos, 2019)
Ordem de preferência	M-C-D-AJ-H-N-G-B-O	M-H-N-C-D-I-G-J-O	B-C-A-H-D	peso igual (B; H; I; J; L; M)

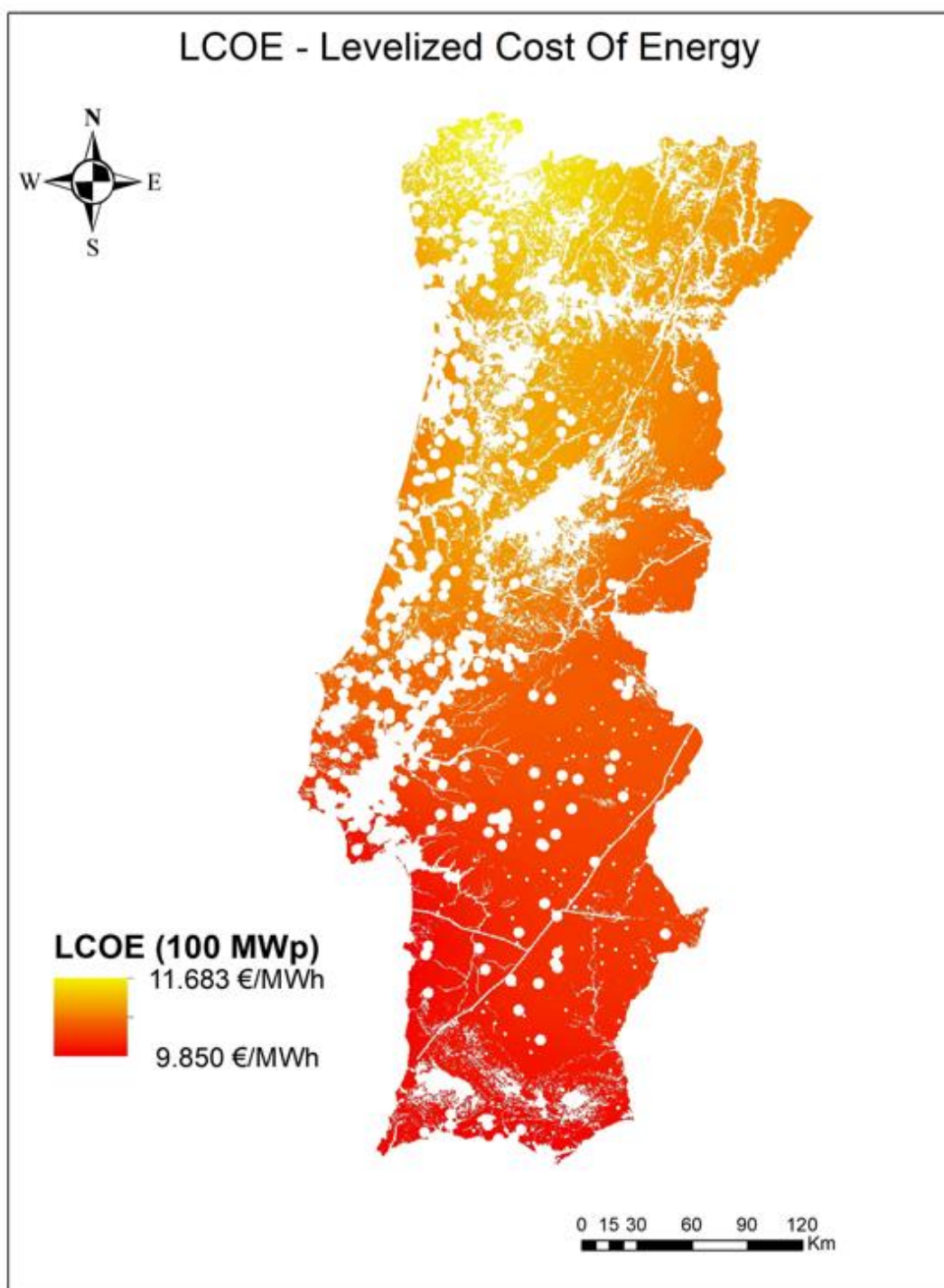


Figura Anexo 2 - Mapa do indicador LCOE para uma potência instalada de 100 MWp

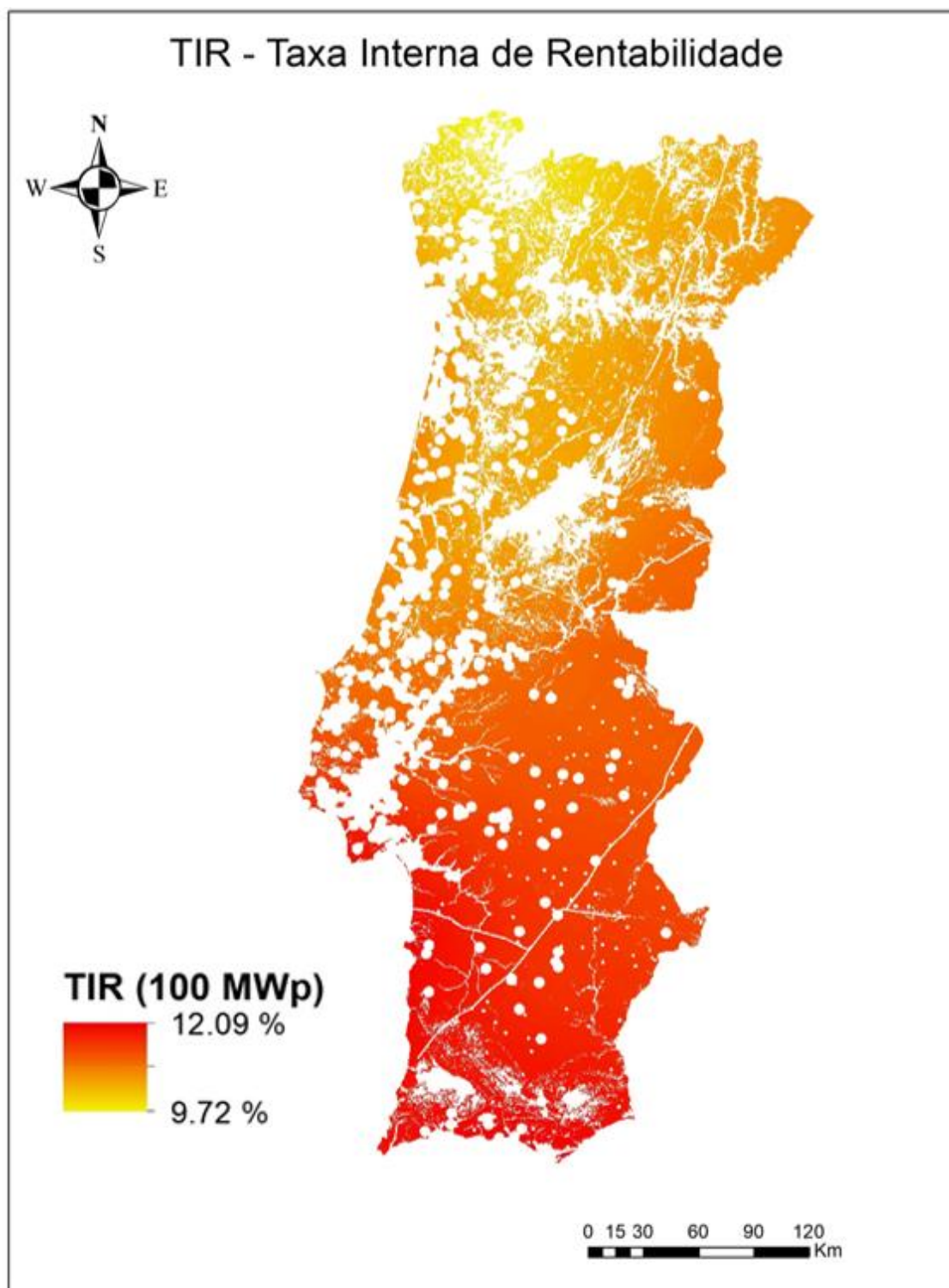


Figura Anexo 3 - Mapa da rede de transporte de energia segundo a REN

Figura Anexo 4 - Mapa do indicador TIR para uma potência instalada de 100 MWp

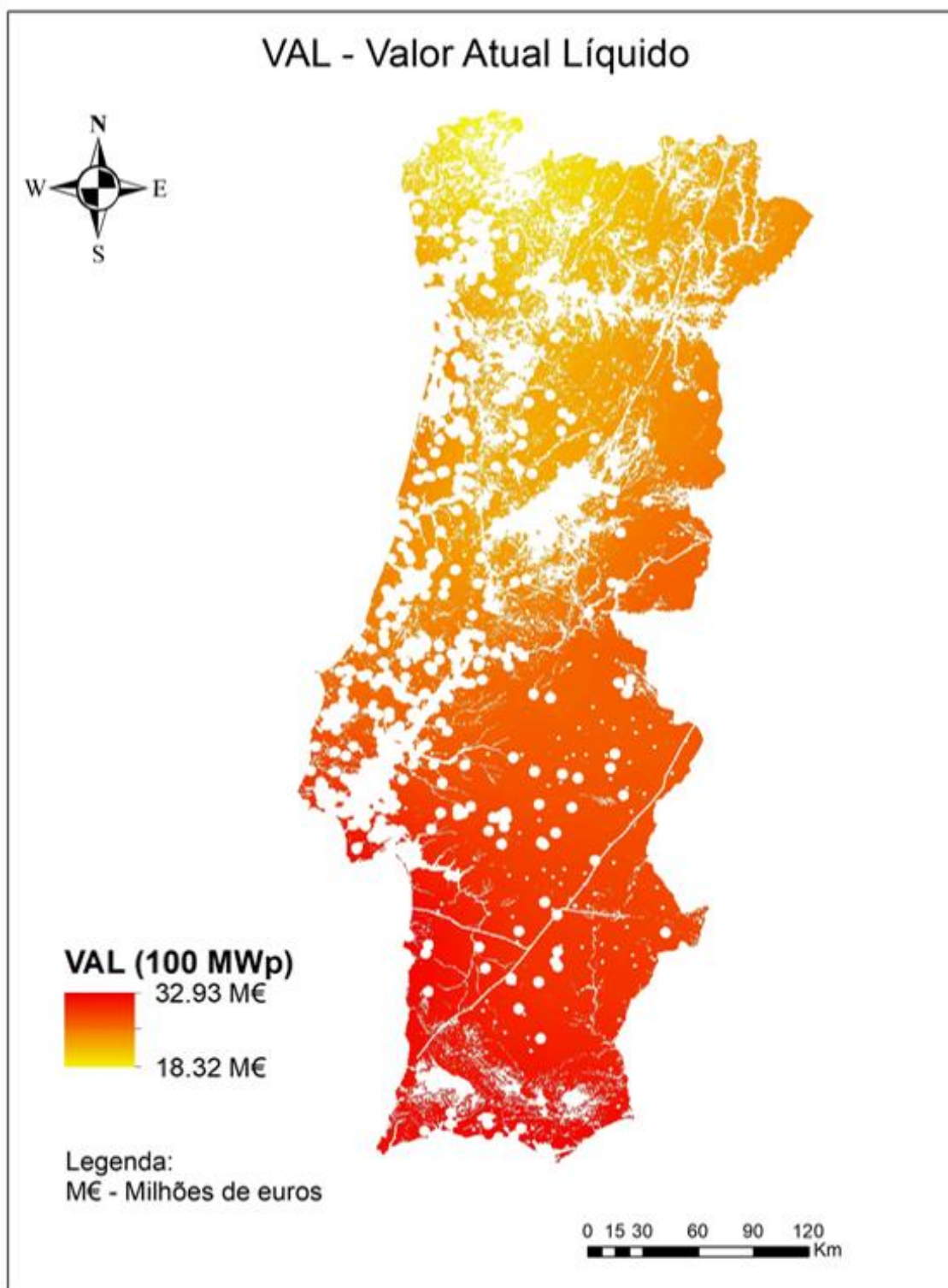


Figura Anexo 5 - Mapa do indicador VAL para uma potência instalada de 100 MWp

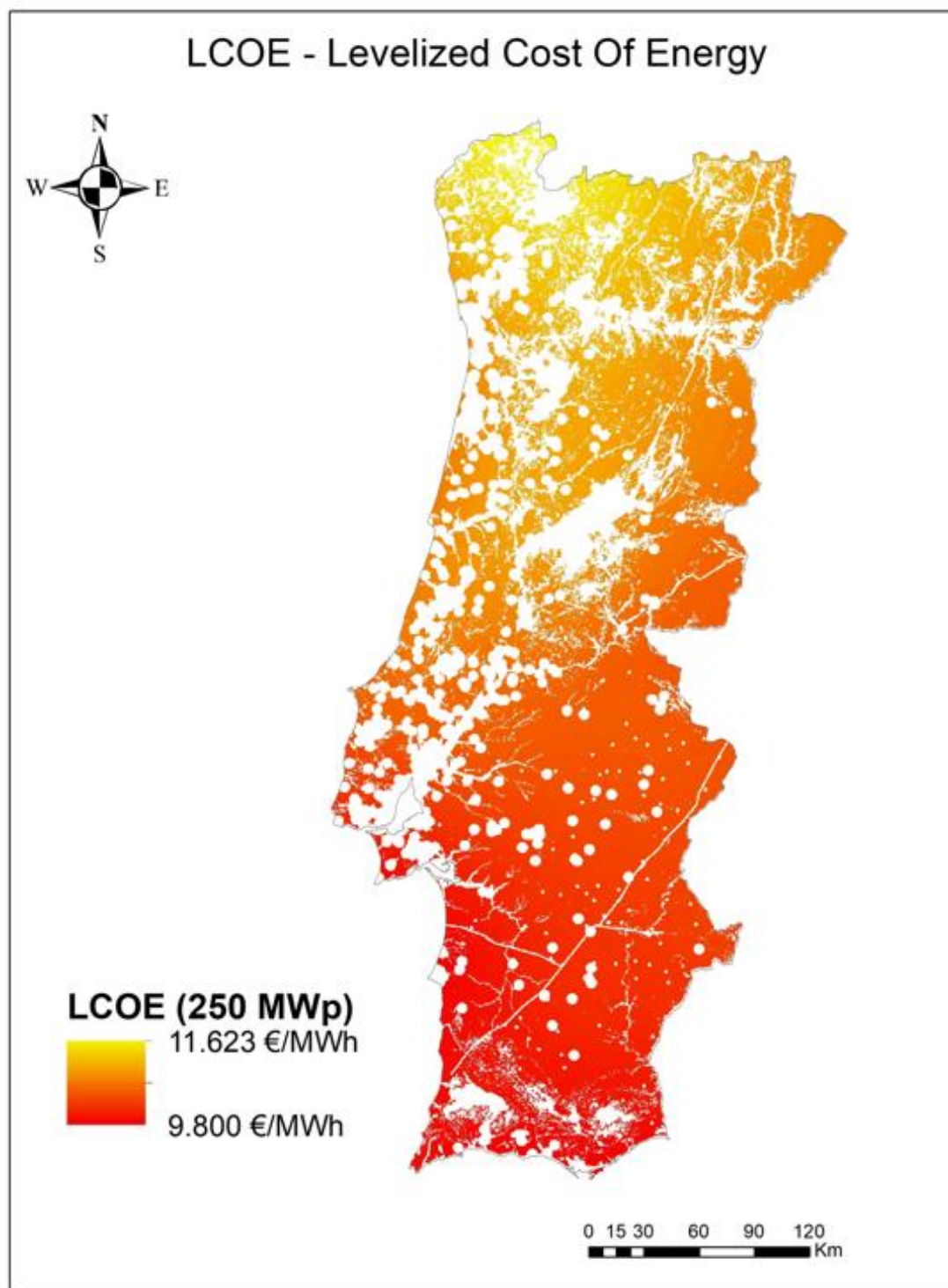


Figura Anexo 6 - Mapa do indicador LCOE para uma potência instalada de 250 MWp

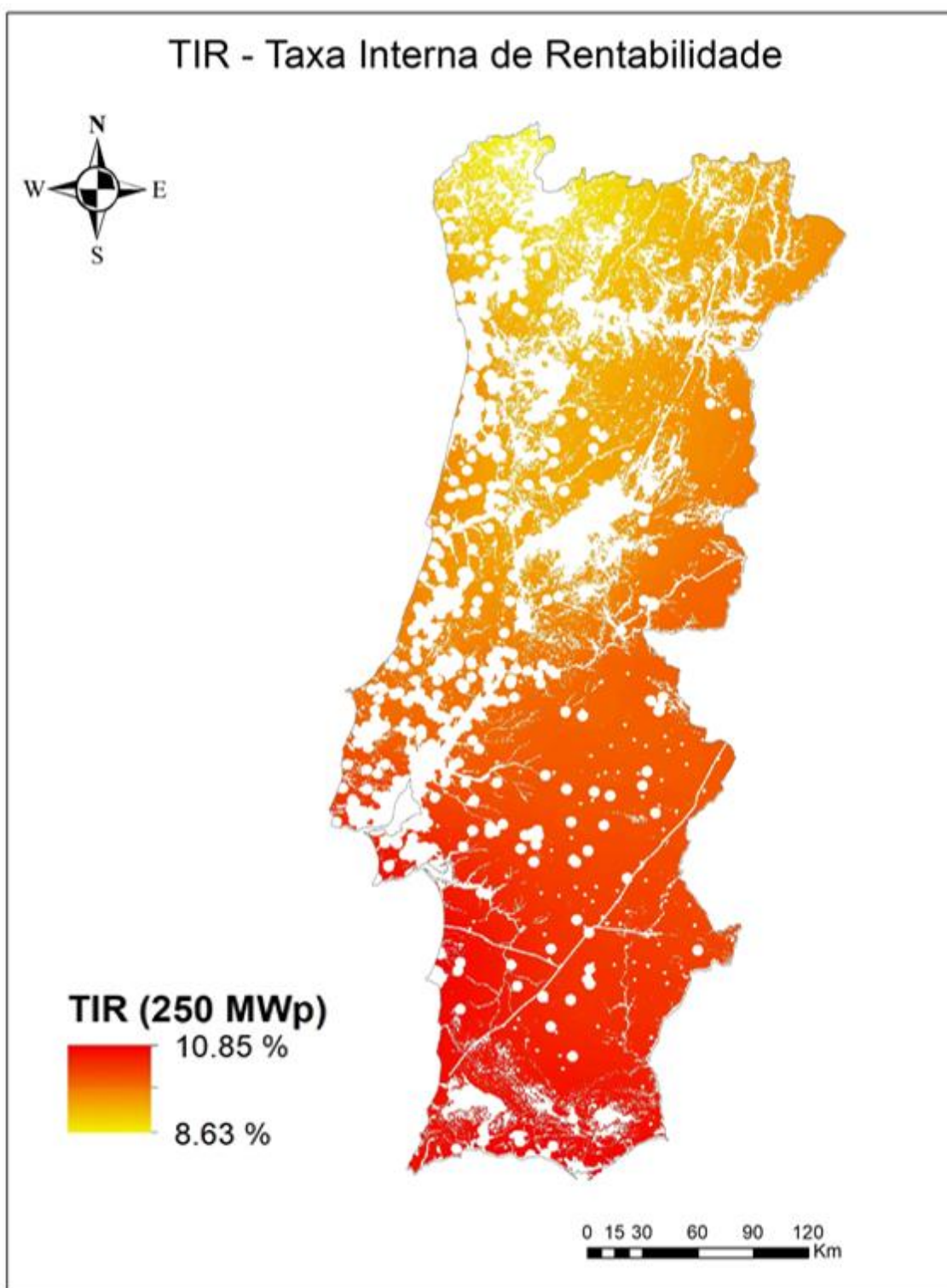


Figura Anexo 7 - Mapa do indicador TIR para uma potência instalada de 250 MWp

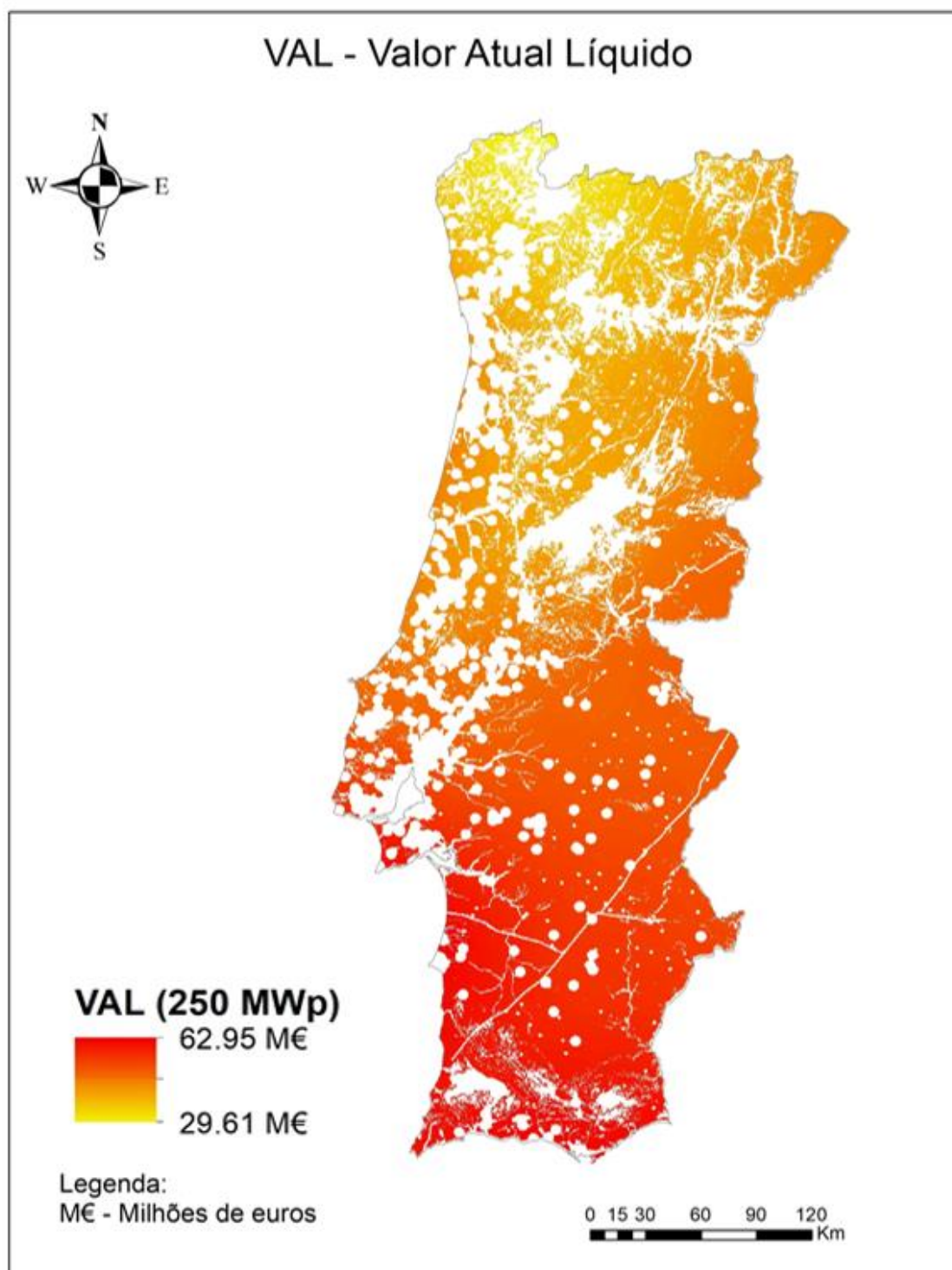


Figura Anexo 8 - Mapa do indicador VAL para uma potência instalada de 250 MWp

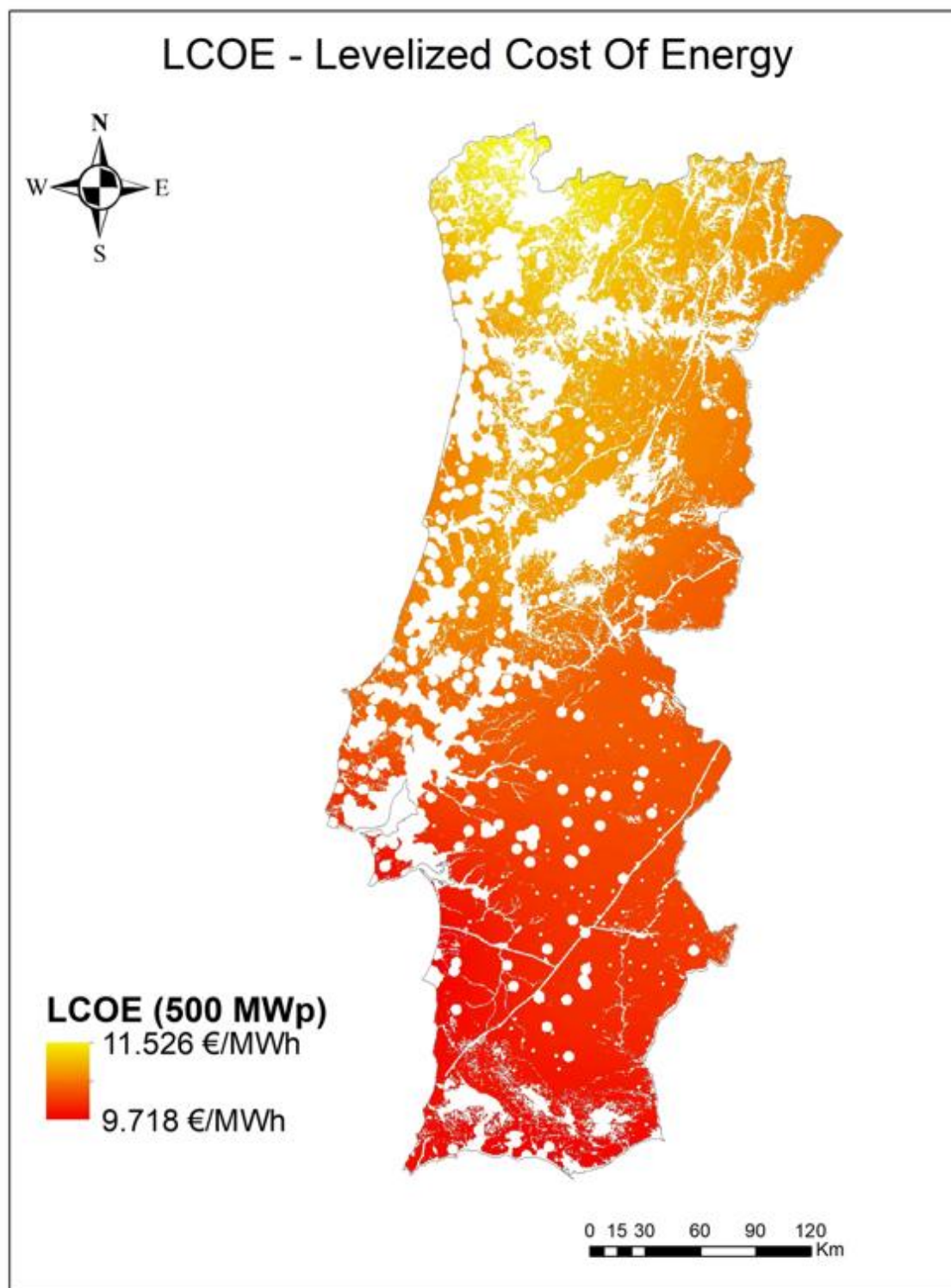


Figura Anexo 9 - Mapa do indicador LCOE para uma potência instalada de 500 MWp

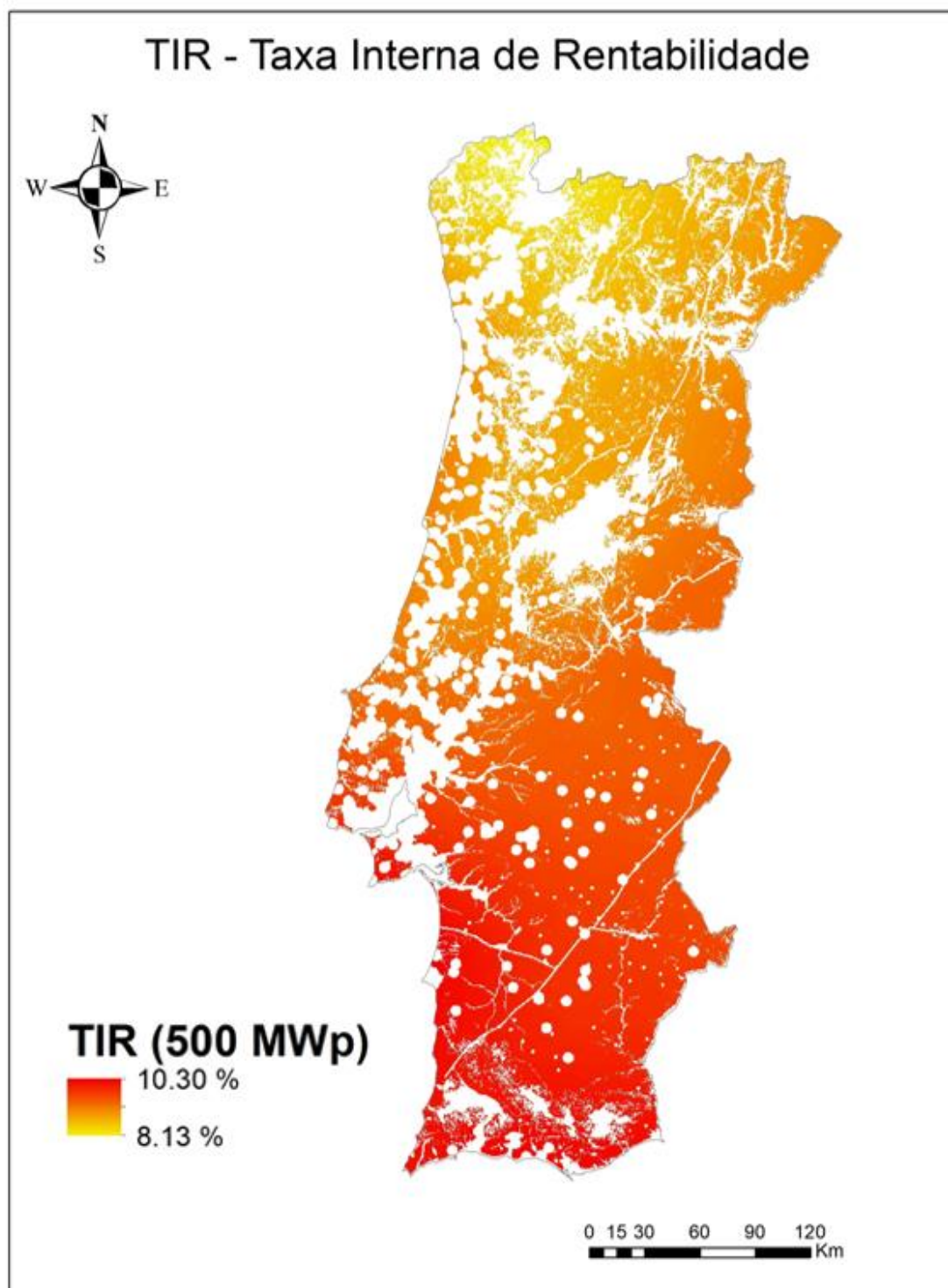


Figura Anexo 10 - Mapa do indicador TIR para uma potência instalada de 500 MWp

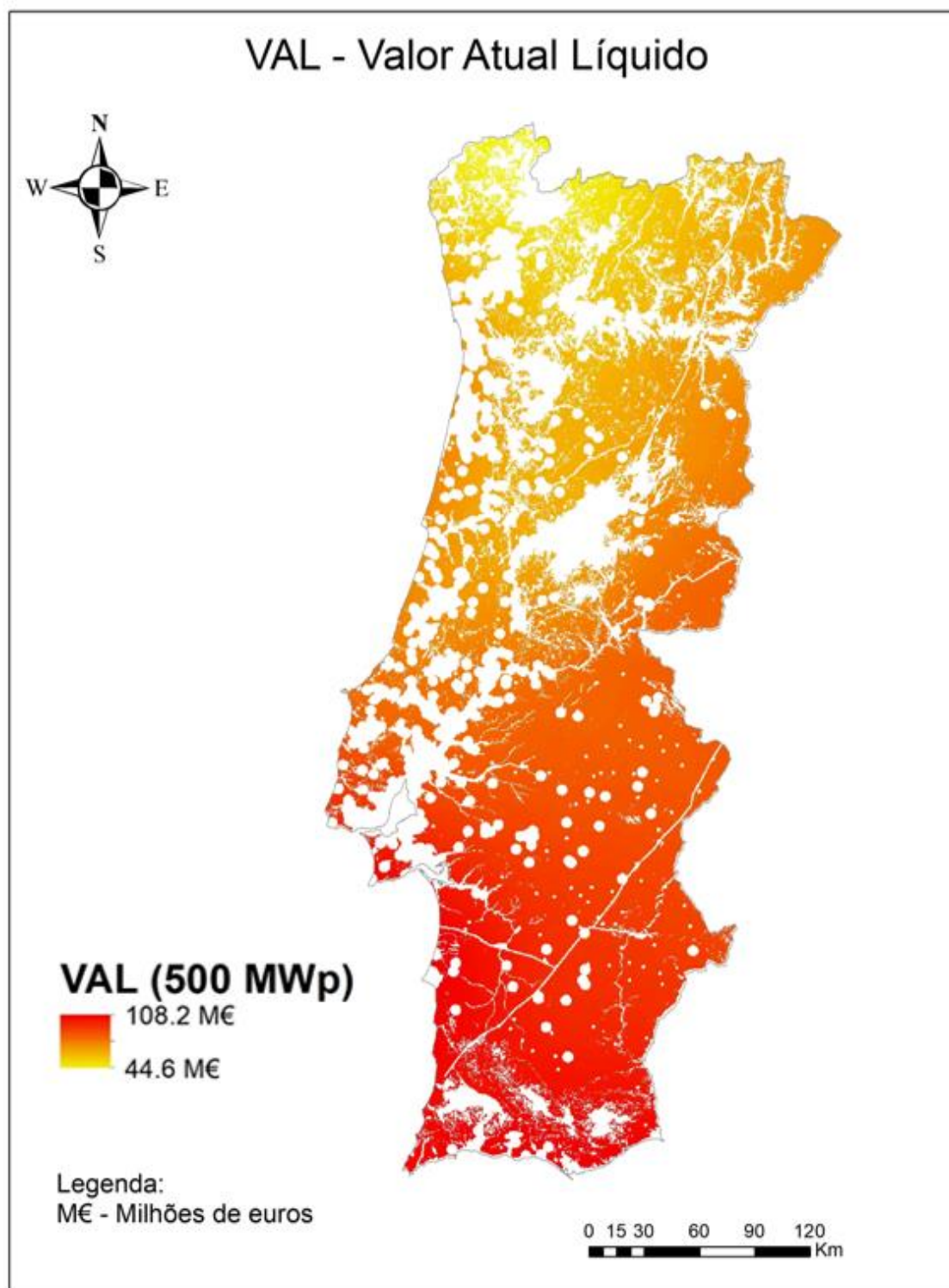


Figura Anexo 11 - Mapa do indicador VAL para uma potência instalada de 500 MWp